



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN EFEK KATUP
MENGUNAKAN *GREY WOLF OPTIMIZATION***

Monica Amelia Oktaviani
NRP 0711144000088

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

***OPTIMAL POWER FLOW WITH VALVE EFFECTS USING
GREY WOLF OPTIMIZATION***

Monica Amelia Oktaviani
NRP 0711144000088

Supervisors
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

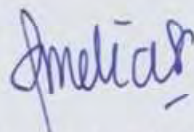
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul "**ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN EFEK KATUP MENGGUNAKAN *GREY WOLF OPTIMIZATION***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018



Monica Amelia O
07111440000088

ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN EFEK KATUP MENGUNAKAN *GREY WOLF OPTIMIZATION*

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Rony Sefo Wibowo, ST., MT.

NIP. 197411292000121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Ni Ketut Arvani, MT.

NIP. 196509011991032002



ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN EFEK KATUP MENGUNAKAN *GREY WOLF OPTIMIZATION*

Nama mahasiswa : Monica Amelia Oktaviani

Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Dosen Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

Abstrak:

Perkembangan teknologi menjadi pusat sorotan masyarakat pada akhir-akhir ini. Semakin berkembangnya teknologi, semakin besar juga tenaga listrik yang dibutuhkan. Tenaga listrik yang dibutuhkan tidak sebanding dengan tenaga listrik yang dihasilkan karena mahalanya pembiayaan operasi pembangkitan. Analisa aliran daya optimal merupakan analisis yang tepat untuk menjawab masalah tersebut, dimana analisis ini bertujuan untuk meminimalkan biaya operasi dengan tetap mempertahankan daya output yang optimal dengan tetap memperhatikan batasan-batasan yang ada seperti efek katup dsb. Efek katup adalah efek pembukaan katup saat pembangkit beroperasi dimana dapat menyebabkan kurva biaya tiap unit pembangkit tidak mulus. Penyelesaian aliran daya optimal memakai metode-metode optimisasi matematika atau dapat disebut juga dengan metode kecerdasan buatan.

Pada topik tugas akhir ini, pembahasan aliran daya optimal dengan efek katup akan diselesaikan dengan metode optimisasi yang bersifat heuristik yaitu metode Grey Wolf Optimization (GWO). Implementasi dari Grey Wolf Optimization adalah untuk menemukan daya output yang optimal dari masing-masing pembangkit yang diarahkan untuk mengecilkan fungsi objektif (harga) ketika memenuhi segala batasan. Data unit pembangkit menggunakan data sistem IEEE 9 Bus dan 30 Bus dan disimulasikan pada software Matlab. Harga operasi pembangkit yang merupakan hasil dari simulasi akan dibandingkan dengan hasil dari metode yang telah dilakukan sebelumnya

Kata kunci: aliran daya optimal, efek valve point, grey wolf optimization.

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMAL POWER FLOW WITH VALVE EFFECTS USING GREY WOLF OPTIMIZATION

Student Name : Monica Amelia Oktaviani
Supervisor I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

Abstract:

The growth of technology has become the center of the spotlight these days. The faster the technology advancing, the greater the demand of the electricity. The electrical power needed is not compatible with the electric power generated, due to the high cost of generator operation. Optimal power flow analysis is the best option to answer the previous problem, where the analysis aims to minimize operating costs while maintaining optimum output power while keeping the existing constraints such as the effect of valve and so on. The valve effect is the effect made by the opened valve when the generator operates, causing the cost curve of each generating unit to be non-smooth. Mathematic optimization is a method to solve optimal power flow, also known as Artificial Intelligence method.

In this final project topic, optimal power flow with valve effect will be solved by a heuristic optimization method called Grey Wolf Optimization (GWO) method. The implementation of Grey Wolf Optimization is to find optimal output power from each generator, which is aimed to minimize the objective function (price) when it meets any constraints. System IEEE 9 Bus and 30 Bus data will be used of generating unit and will be simulated in Matlab. The number of the operating generator, which is the result of the simulation, will be compared with the result of the previous method.

Key Word: optimal power flow, valve point effect, grey wolf optimization.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkatnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN EFEK KATUP MENGGUNAKAN *GREY WOLF OPTIMIZATION*”**.

Dalam proses penyusunan, penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Maka dari itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus karena telah memberi kelancaran serta kekuatan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Papa, Mama, Handrew, Tomy dan keluarga lainnya yang selalu mendukung serta mendoakan penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Ir. Ni Ketut Aryani, MT. sebagai dosen pembimbing yang senantiasa memberi arahan dalam setiap proses penyelesaian tugas akhir.
4. Teman-teman Bocils (Gita, Yemima, Ellen, Yolanda), Bebek (Mahut, Nadia, Bimo, Joel), Bucin Park (Firsta, Devi, Kiki) dan Tim PIK (Aurel dan Gokma) yang selalu mendengar keluh kesah serta memberi semangat kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir.
5. Teman-teman angkatan 2014 terlebih kepada Asisten Lab Simulasi Tenaga Listrik yang selalu membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir
6. Dosen dan Karyawan Teknik Elektro ITS yang selama ini telah memberikan ilmu baik dalam pengajaran ataupun keseharian.
7. Semua pihak yang membantu (yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu) termasuk Wanna One yang secara langsung ataupun tidak langsung memberi semangat kepada penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap bahwa tugas akhir ini dapat dijadikan referensi untuk pembaca dan masyarakat khususnya orang-orang yang berkecimpung di bidang ketenagalistrikan.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR **Error! Bookmark not defined.**

KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Analisa Aliran Daya [1]	6
2.2.1 Persamaan Aliran Daya [3]	7
2.2.2 Metode Newton Rhapson [4]	9
2.3 Aliran Daya Optimal	13
2.3.1 Pengertian Aliran Daya Optimal	13
2.3.2 Pengaplikasian <i>Optimal Power Flow</i> [7]	15
2.4 Grey Wolf Optimization [8].....	16
2.4.1 Tingkatan Sosial (<i>Social Hierarchy</i>).....	18
2.4.2 Mengitari Mangsa (<i>Encircling Prey</i>)	19
2.4.3 Berburu (<i>Hunting</i>).....	20
2.4.4 Menyerang Mangsa (<i>Attacking Prey</i>)	21
2.4.5 Pencarian Mangsa (<i>Search of Prey</i>).....	22
2.5 Optimal Power Flow dengan Efek Katup	24
BAB III <i>OPTIMAL POWER FLOW DENGAN GREY WOLF OPTIMIZATION</i>	27
3.1 Sistem IEEE 9 Bus dan 30 Bus.....	27
3.1.1 Data Single Line IEEE 9 Bus.....	27
3.1.2 Data Single Line IEEE 30 Bus.....	29
3.2 Penyelesaian Optimal Power Flow dengan Efek Katup menggunakan Algoritma GWO	34

3.2.1	Inisialisasi Awal	35
3.2.2	Pengecekan Posisi GWO	35
3.2.3	Memperbarui <i>Nilai Alpha, Beta dan Delta</i>	36
3.2.4	Perhitungan Fitness.....	36
3.3	Implementasi GWO pada OPF	37
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS		39
4.1	Sistem Data IEEE 9 Bus	39
4.1.1	Perbandingan Tegangan.....	40
4.1.2	Perbandingan Aliran Daya.....	41
4.1.3	Perbandingan Daya Pada Tiap Pembangkitan	42
4.1.4	Perbandingan Biaya Pembangkitan	43
4.1.5	Grafik Konvergensi	45
4.2	Sistem Data IEEE 30 Bus	46
4.2.1	Perbandingan Tegangan.....	46
4.2.2	Perbandingan Aliran Daya.....	48
4.2.3	Perbandingan Daya Pada Tiap Pembangkitan	51
4.2.4	Perbandingan Biaya Pembangkitan	52
4.2.5	Grafik Konvergensi	54
BAB V PENUTUP		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		61
BIODATA PENULIS		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2 Gambaran bus secara umum.....	8
Gambar 2.3 Tingkatan Sosial Serigala Abu-Abu.....	16
Gambar 2.4 Langkah-Langkah dalam Teknik Berburu.....	18
Gambar 2.5 Pergantian posisi dalam teknik mengitari mangsa.....	20
Gambar 2.6 Keadaan dimana nilai $A < 1$	22
Gambar 2.7 Keadaan dimana nilai $A > 1$	22
Gambar 2.8 Kurva biaya bahan bakar dengan daya output sistem.....	25
Gambar 3.2 Single Line Diagram sistem IEEE 9 bus	27
Gambar 3.3 Single Line Diagram sistem IEEE 30 Bus.....	29
Gambar 3.4 Diagram Alur GWO	34
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan nilai tegangan dengan GWO	41
Gambar 4.2 Grafik perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	42
Gambar 4.3 Grafik perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 9 Bus dengan metode GWO dan MHBMO akibat efek katup	44
Gambar 4.4 Perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 9 Bus dengan metode GWO dan MHBMO tanpa efek katup	44
Gambar 4.5 Grafik konvergensi dengan efek katup sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	45
Gambar 4.6 Grafik konvergensi tanpa efek katup sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	46
Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai tegangan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	48
Gambar 4.8 Grafik perbandingan aliran daya sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	51
Gambar 4.9 Grafik perbandingan total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 Bus dengan metode GWO dan MHBO tanpa efek katup.....	53
Gambar 4.10 Grafik perbandingan total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 Bus dengan metode GWO dan MHBMO akibat efek katup...	53
Gambar 4.11 Grafik konvergensi akibat efek katup sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	54

Gambar 4.12 Grafik konvergensi tanpa efek katup sistem IEEE 30 Bus
dengan GWO55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data bus dan beban sistem IEEE 9 bus	28
Tabel 3.2 Data saluran sistem IEEE 9 bus.....	28
Tabel 3.3 Fungsi biaya sistem IEEE 9 bus	28
Tabel 3.4 Batasan kemampuan generator IEEE 9 bus.....	29
Tabel 3.5 Data bus dan beban sistem IEEE 30 bus	30
Tabel 3.5 Data bus dan beban sistem IEEE 30 bus (lanjutan)	31
Tabel 3.6 Data saluran sistem IEEE 30 bus.....	31
Tabel 3.6 Data saluran sistem IEEE 30 bus (lanjutan)	32
Tabel 3.6 Data saluran sistem IEEE 30 bus (lanjutan)	33
Tabel 3.7 Fungsi biaya sistem IEEE 30 bus	33
Tabel 3.8 Batasan kemampuan generator sistem IEEE 30 bus.....	33
Tabel 3.9 Implementasi GWO.....	37
Tabel 3.10 Implementasi GWO (lanjutan)	38
Tabel 4.1 Perbandingan nilai tegangan sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	40
Tabel 4.2 Perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	41
Tabel 4.3 Perbandingan nilai daya yang dibangkitkan sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	42
Tabel 4.4 Perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 9 Bus dengan GWO	43
Tabel 4.5 Perbandingan nilai tegangan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	47
Tabel 4.6 Perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	49
Tabel 4.6 Perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 30 Bus dengan GWO (lanjutan)	50
Tabel 4.7 Perbandingan nilai daya yang dibangkitkan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	51
Tabel 4.8 Perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO	52

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang, perkembangan teknologi semakin bertumbuh pesat. Seiring dengan berkembangnya teknologi, maka semakin besar pula tingkat kebutuhan akan tenaga listrik. Salah satu masalah ketenagalistrikan di Indonesia adalah penyebarannya yang kurang merata. Masalah tersebut disebabkan oleh kurang tersedianya energi pembangkitan dalam memasok tenaga listrik akibat biaya operasi pembangkitan yang mahal padahal tingkat permintaan tenaga listrik sangat tinggi. Pada pengoperasian pembangkit tenaga listrik, terdapat kurva biaya dari masing-masing unit pembangkit. Kurva biaya non smooth merupakan kurva biaya yang disebabkan oleh adanya efek valve point (efek katup) yang terbuka saat operasi. Hal ini yang menjadi masalah utama dari sistem pembangkit. Maka dari itu, dibutuhkan suatu analisa guna meminimalisir harga operasi suatu pembangkit dengan menghasilkan daya output maksimal tetapi tetap memperhatikan batasan-batasan yang ada seperti efek katup.

Analisis aliran daya optimal atau yang sering disebut dengan Optimal Power Flow (OPF) merupakan suatu analisis yang memiliki prinsip sama dengan economic dispatch yaitu meminimalisir biaya pembangkitan dengan tetap mengeluarkan daya yang optimal. Aliran daya optimal penting untuk pengembangan dan peningkatan efisiensi dari sistem tenaga listrik yang ada dan juga perencanaan yang baik untuk masa depan. Tujuan utama dalam analisis aliran daya optimal adalah untuk menentukan operasi optimal dari suatu sistem dengan mengoptimisasi sebuah objek tertentu dengan memperhatikan bentuk fisik khusus dan keamanan sistem. Untuk menyelesaikan aliran daya optimal, terdapat dua jenis metode yakni deterministik dan undeterministik. Pendekatan deterministik berdasarkan pada cabang ilmu matematika teknik sedangkan pendekatan undeterministik bersifat heuristik menggunakan teknik probabilitas. Salah satu metode yang termasuk dalam pendekatan undeterministik bersifat heuristik adalah metode Grey Wolf Optimization. Grey Wolf Optimization adalah sebuah teknik optimasi dimana berdasarkan kelakuan dan cara pemburuan kelompok serigala abu-abu dalam hidupnya. Implementasi dari Grey Wolf Optimization

adalah untuk menemukan optimal daya output untuk pembangkit masing-masing yang diarahkan untuk mengecilkan fungsi objektif (harga) ketika memenuhi segala konsentrasi. Dengan menginput data berdasarkan sistem IEEE 9 bus dan 30 bus, dan menjalankan program Grey Wolf Optimization maka didapatkan harga operasi pembangkit sehingga dapat dibandingkan dengan metode yang telah dilakukan sebelumnya.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara meminimalkan biaya operasi unit pembangkit dengan tetap mempertahankan daya output yang optimal dari unit pembangkit.
2. Bagaimana efek valve point dalam analisis *Optimal Power Flow (OPF)*.
3. Bagaimana membuat program *Grey Wolf Optimization* menggunakan software *Matlab* dalam analisis *Optimal Power Flow*.
4. Bagaimana hasil metode *Grey Wolf Optimization* dibandingkan dengan metode lain dalam analisis *Optimal Power Flow*.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan penelitian bahwa *Grey Wolf Optimization* dapat digunakan sebagai metode untuk analisis *Optimal Power Flow*
2. Mengetahui efek dari *valve point* pada analisis *Optimal Power Flow*
3. Menjadi sebuah parameter dalam menemukan solusi terbaik dalam analisis *Optimal Power Flow*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Analisis *Optimal Power Flow (OPF)* menggunakan *Grey Wolf Optimization*.

2. Perhitungan biaya operasi unit pembangkit, daya yang dihasilkan unit pembangkit, total biaya pembangkitan akibat efek katup

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir agar penguasaan materi lebih baik. Studi yang akan dilakukan mengenai pengumpulan referensi pada studi perhitungan dan analisis aliran daya optimal dengan metode *Grey Wolf Optimization*.
2. Pengumpulan Data
Pengambilan data yang diperlukan diantaranya data-data daya yang dihasilkan oleh beberapa unit pembangkit, harga operasi unit pembangkit sebelum dan sesudah adanya efek katup dan biaya operasi unit pembangkit dengan metode optimasi lain.
3. Simulasi
Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan maka selanjutnya adalah mengolah data dalam bentuk program coding untuk menentukan daya output pada tiap unit pembangkit dan total harga bahan bakar pembangkit menggunakan software *Mallab*.
4. Analisis Data
Dari hasil simulasi yang didapatkan berupa daya output tiap unit pembangkit dan total harga bahan bakar pembangkit. Kemudian melakukan perbandingan harga bahan bakar dengan metode lainnya. Setelah data dibandingkan, memberikan kesimpulan apakah *Grey Wolf Optimization* merupakan metode yang efektif akan masalah aliran daya optimal.
5. Penulisan Buku Tugas Akhir
Penulisan laporan adalah rangkuman kesimpulan akhir dari beberapa rangkaian metodologi diatas untuk menggambarkan hasil serta analisis dan simulasi yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang pengambilan topik, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah metodologi penelitian dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang dasar teori dari sistem tenaga listrik, aliran daya dan aliran daya optimal serta metode *Grey Wolf Optimization*.

BAB III : *Optimal Power Flow* dengan *Grey Wolf Optimization*

Bab ini berisi tentang penjelasan pengaruh efek katup, sistem yang dipakai sebagai data pengujian dan penjelasan mengenai alur metode *Grey Wolf Optimization*.

BAB IV : Simulasi dan Analisis

Bab ini berisi tentang hasil dari simulasi untuk data sistem yang digunakan dan berupa analisis-analisis mengenai hasil simulasi tersebut.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil simulasi dan analisis yang telah digunakan beserta saran penulis akan Tugas Akhir.

1.7 Relevansi

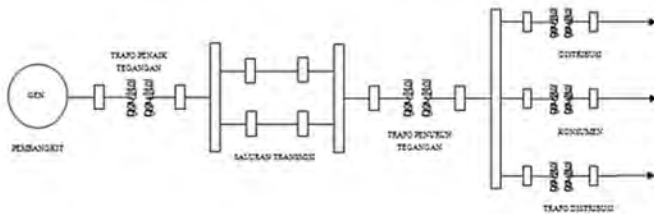
Tugas Akhir diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi sebuah referensi dan bahan perbandingan dalam pemecahan masalah analisa aliran daya optimal pada metode lain.
2. Menjadi sebuah referensi mengenai metode *Grey Wolf Optimization* dalam pemecahan masalah optimasi lainnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Keberhasilan sebuah industri dapat diukur dari seberapa baik pengolahan sumber-sumber energi yang dipakai. Mengubah bentuk energi tanpa menyebabkan pencemaran lingkungan merupakan masalah terbesar pada zaman ini. Energi listrik merupakan energi yang paling mudah untuk dikonversikan dan tidak membutuhkan biaya yang besar. Sistem Tenaga Listrik merupakan salah satu alat dalam hal konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya dengan memperhatikan dampak dari masalah tersebut. Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik
Sumber: Eflizarty Azzahra, 2011

Sistem pembangkit merupakan suatu sistem yang berguna untuk membangkitkan tenaga listrik dari berbagai macam sumber energi. Sistem pembangkit merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik. Efisiensi pada sistem ini sangat diperhatikan karena adanya keterkaitan dengan performansi dan konsumsi bahan bakar pembangkit. Sistem transmisi merupakan sistem yang berguna untuk menyalurkan hasil energi dari sistem pembangkit yang kemudian akan diteruskan untuk menyuplai beban. Salah satu jenis sistem transmisi yang sering digunakan adalah sistem interkoneksi. Tujuan dari sistem interkoneksi yaitu menjaga keseimbangan antara besar tenaga listrik yang ada dengan jumlah beban yang dibutuhkan. Sistem distribusi merupakan sistem yang berguna untuk menyalurkan energi listrik dengan daya yang besar dan membagikan

energi listrik kepada konsumen. Sistem ini juga disebut sebagai sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Proses sistem tenaga listrik secara sederhana dimulai dari adanya kenaikan tegangan pada sistem pembangkit. Tujuannya adalah agar dapat memperkecil kerugian daya listrik pada proses sistem transmisi. Lalu tegangan tersebut diturunkan pada sistem transmisi oleh transformator step down. Di sistem distribusi tegangan kembali diturunkan menjadi 220/380 volt yang kemudian dibagikan kepada konsumen.

2.2 Analisa Aliran Daya [1]

Analisa aliran daya merupakan dasar dari sistem tenaga listrik. Analisa aliran daya adalah cara menentukan nilai dari tegangan, arus dan daya aktif maupun daya reaktif dalam setiap titik sistem tenaga listrik yang sedang beroperasi atau akan beroperasi secara normal. Adapun tujuan dari analisa aliran daya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besar dan sudut tegangan pada masing-masing bus untuk mengetahui tingkat pemenuhan batas-batas yang diperbolehkan pada saat beroperasi.
2. Menentukan besar arus dan daya yang mengalir pada jaringan interkoneksi agar dapat mengidentifikasi tingkat pembebanan

Sebelum melakukan analisa aliran daya, dibutuhkan empat macam data utama yaitu data generator, data transformator, data saluran transmisi dan data beban. Data pembangkit (generator) adalah kapasitas daya aktif (P) dalam satuan Megawatt (MW) dan reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA), tegangan terminal (V) dan reaktansi sinkron (X) dalam satuan Ohm. Data transformator adalah kapasitas tiap trafo dalam satuan Megavolt Ampere (MVA), tegangan (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi bocor (X) dalam satuan Ohm. Data saluran transmisi adalah besar resistansi (R) dan reaktansi (X) dalam Ohm. Data beban adalah kapasitas daya aktif (P) dalam Megawatt (MW) dan daya reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA) [2]. Dalam masalah aliran daya, konsep fasa tunggal wajib dilakukan karena agar sistem dapat dikatakan seimbang.

2.2.1 Persamaan Aliran Daya [3]

Dalam mendapatkan nilai tegangan dari tiap bus pada sistem tenaga listrik, dimana satuan impedansinya adalah per unit, diperlukan suatu analisa persamaan aliran daya. Berdasarkan hukum Kirchoff arus, persamaan titik tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$I_{bus} = Y_{bus}V_{bus} \quad (2.1)$$

keterangan

I_{bus} = arus pada bus

Y_{bus} = admitansi pada bus

V_{bus} = tegangan pada bus

Persamaan tersebut dapat diubah ke dalam bentuk matriks admitansi seperti berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

keterangan

n = jumlah total bus

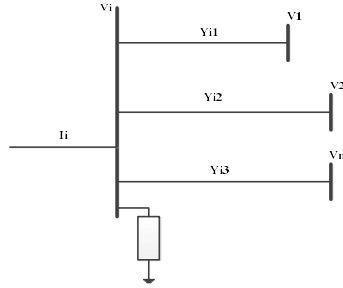
I_i = arus fasor yang mengalir ke bus i

Y_{11} = admitansi sendiri dari bus i

Y_{21} = mutual admitansi dari bus i dan j

V_i = tegangan fasor pada bus i

Penggambaran secara umum bus pada sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2.2 Gambaran bus secara umum

Penerapan hukum Kirchoff arus pada sistem tenaga listrik diatas menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$I_i = y_0 V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 + \dots + y_{in}V_n \quad (2.3)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq 1 \quad (2.4)$$

Untuk daya aktif dan reaktif pada bus i ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan 2.4 dan 2.6, maka substitusi nilai I_i menghasilkan persamaan berikut.

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq 1 \quad (2.7)$$

Perhitungan aliran daya tersebut diselesaikan dengan proses pengulangan (iterasi). Iterasi adalah proses pengulangan untuk menyelesaikan permasalahan matematika dengan suatu program, Dalam proses iterasi dimulai dengan ditetapkan nilai perkiraan untuk tegangan bus yang tidak diketahui. Setelah itu menghitung nilai baru untuk setiap tegangan bus berdasarkan nilai perkiraan bus yang lain. Proses tersebut akan terus berlangsung hingga terjadi perubahan pada setiap bus sesuai dengan batasan-batasan yang ditentukan.

2.2.2 Metode Newton Rhapson [4]

Dalam menyelesaikan persamaan aljabar non linear, metode-metode yang paling umum digunakan adalah metode *Gauss-Seidel* dan *Newton-Raphson*. Metode *Newton-Raphson* merupakan metode yang sering digunakan dimana metode ini menggunakan prinsip pendekatan suksesif berdasarkan perkiraan awal yang tidak diketahui dengan persamaan deret *Taylor*. Metode ini dapat menyelesaikan persamaan dengan dua variabel atau lebih.

Berikut akan dijelaskan tentang bagaimana perhitungan menggunakan metode *Newton-Rhapson* dengan N variabel yang merupakan pengembangan dari *Newton-Rhapson* satu variabel. Untuk metode *Newton-Rhapson* N variabel diperlukan analogi dimensi N dari turunan pertama dengan menggunakan matriks Jacobian. Setiap elemen matriks Jacobian merupakan turunan parsial salah satu persamaan nonlinear dari sistem. Untuk memudahkan pemahaman, asumsikan $N = 2$ dengan dua persamaan F_1 dan F_2 . Maka,

$$F_1(x_1, x_2) = K_1 \quad (2.8)$$

$$F_2(x_1, x_2) = K_2 \quad (2.9)$$

Pada persamaan 2.8 dan 2.9, variabel K_1 dan K_2 merupakan suatu konstanta. Jika $x_1(0)$ dan $x_2(0)$ adalah estimasi awal untuk solusi, $\Delta x_1(0)$ dan $\Delta x_2(0)$ adalah deviasi dari solusi yang tepat, maka persamaan dapat ditulis sebagai berikut.

$$K_1 = F_1(x_1, x_2) = F_1[x_1(0) + \Delta x_1(0) + x_2(0) + \Delta x_2(0)] \quad (2.10)$$

$$K_2 = F_2(x_1, x_2) = F_2[x_1(0) + \Delta x_1(0) + x_2(0) + \Delta x_2(0)] \quad (2.11)$$

Kemudian persamaan 2.10 dan 2.11 diuraikan ke dalam deret *Taylor* seperti berikut.

$$K_1 = F_1[x_1(0), x_2(0)] + \Delta x_1(0) \frac{\partial F_1}{\partial x_1} \Big|_0 + \Delta x_2(0) \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \Big|_0 + \dots \quad (2.12)$$

$$K_2 = F_2[x_1(0), x_2(0)] + \Delta x_1(0) \frac{\partial F_2}{\partial x_1} \Big|_0 + \Delta x_2(0) \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \Big|_0 + \dots \quad (2.13)$$

Asumsikan error $\Delta x_1(0)$ dan $\Delta x_2(0)$ sangat kecil, sehingga orde yang lebih tinggi dapat diabaikan. Kemudian persamaan 2.12 dan 2.13 dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} K_1 - F_1[x_1(0), x_2(0)] \\ K_2 - F_2[x_1(0), x_2(0)] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1(0) \\ \Delta x_2(0) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Matriks turunan parsial pada persamaan 2.14 disebut dengan matriks *Jacobian* yang menunjukkan solusi awal $x_1(0)$ dan $x_2(0)$ digunakan untuk menghitung turunan parsial. Persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \Delta K_1(0) \\ \Delta K_2(0) \end{bmatrix} = J(0) \begin{bmatrix} \Delta x_1(0) \\ \Delta x_2(0) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Koreksi pertama pada sistem persamaan linear ditambahkan ke variabel iterasi awal untuk mendapatkan nilai iterasi selanjutnya.

$$\begin{bmatrix} x_1^{(1)} \\ x_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Secara umum penyelesaian metode *Newton-Rhapson* dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Delta K^{h-1} = [J^{h-1}] [\Delta x^{h-1}] \quad (2.17)$$

$$x^h = x^{h-1} + \Delta x^{h-1} \quad (2.18)$$

Melalui metode *Newton-Rhapson*, perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan perhitungan arus pada transmisi dan daya keluar masuk bus seperti berikut.

$$P_i - jQ_i = |V_i| < \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.19)$$

Kemudian bagian riil dan imajiner dipisahkan, sehingga persamaan 2.18 menjadi seperti berikut.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.20)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.21)$$

Persamaan tersebut disederhanakan dalam bentuk matriks *Jacobian*. Elemen matriks *Jacobian* terdiri atas turunan parsial yang dievaluasi pada $\Delta\delta$ dan $\Delta|V|$, sehingga menjadi seperti berikut.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Elemen untuk J_1 adalah sebagai berikut

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.24)$$

Elemen untuk J_2 adalah sebagai berikut

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.26)$$

Elemen untuk J_3 adalah sebagai berikut

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.28)$$

Elemen untuk J_4 adalah sebagai berikut

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}|\sin\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.30)$$

$\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ adalah *power* residual atau beda nilai yang dimasukkan dengan nilai yang dihitung. Persamaannya seperti berikut.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.31)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.32)$$

Estimasi nilai dan sudut tegangan bus yang baru sebagai berikut ini.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} - \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.33)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| - \Delta|V_i^{(k)}| \quad (2.34)$$

Proses iterasi pada metode *Newton-Rhapson* untuk aliran daya akan berhenti jika memenuhi batasan berikut ini.

$$\Delta|P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.35)$$

$$\Delta|Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.36)$$

Arus pada saluran dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$I_{ij} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (2.37)$$

Daya kompleks dari bus I ke bus j maupun sebaliknya dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2.38)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ij}^* \quad (2.39)$$

Untuk perhitungan rugi-rugi daya pada setiap kombinasi pembangkit dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$S_{Lji} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.40)$$

2.3 Aliran Daya Optimal

Masalah aliran daya listrik atau aliran beban dapat dinyatakan dengan penentuan besaran beban dalam megawatt atau megavar untuk di pasok pada titik atau busbar tertentu dari sebuah sistem transmisi dan daya pembangkit dan magnitude tegangan pada titik suatu sistem yang bersamaan dengan deskripsi topologi lengkap suatu sistem dimana impedansi juga termasuk didalamnya. Dalam matematika, masalah tersebut dapat dikurangi dengan cara nonlinear equations dimana komponen real dan imajiner dari titik tegangan adalah variabel. Hasil dari masalah aliran daya menjelaskan line mana yang berbeban, besar tegangan pada beberapa bus, berapa banyak daya pembangkit yang hilang dan dimana terjadi limit ke operator atau perencana suatu sistem.

2.3.1 Pengertian Aliran Daya Optimal

Salah satu masalah optimasi dalam rekayasa sistem tenaga listrik atau yang biasa dikenal secara umum sebagai *Optimal Power Flow* (OPF) adalah salah satu sub bidang dari optimasi *non linear* terbatas yang paling penting dan banyak diteliti. Carpentier (1962) mengenalkan OPF sebagai lanjutan masalah *Economic Dispatch* dari pembangkit suatu sistem tenaga listrik [5]. OPF menyertakan berbagai masalah optimisasi yang berusaha mengoptimalkan pengoperasian sistem tenaga listrik pada konstrain fisik berdasarkan hukum-hukum listrik dan batasan-batasan listrik.

Berikut adalah rumus *Economic Dispatch* dimana konsepnya hanya memiliki satu batasan [6]:

$$F(P_g) = \sum_{i=1}^n (a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i) \quad (2.41)$$

Batasan *Economic Dispatch* yaitu total daya pada pembangkitan sama dengan total daya ditambah rugi-rugi beban terlihat pada:

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_d + P_L \quad (2.42)$$

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (2.43)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa pada konsep *Economic Dispatch*, nilai dari beberapa variabel kontrol telah ditetapkan. Namun tidak berlaku pada OPF. Dalam konsep OPF, beberapa bahkan semua variable control harus didapatkan terlebih dahulu. *Economic Dispatch* dan OPF memiliki rumus yang sama, akan tetapi batasan-batasannya lah yang membedakan keduanya. Batasan pada OPF jauh lebih kompleks dibandingkan dengan *Economic Dispatch*.

$$P_{Ga} - P_{Da} = V_a \sum_{n=1}^{NB} V_b (G_{ab} \cos(\theta_a - \theta_b) + B_{ab} \sin(\theta_a - \theta_b)) \quad (2.44)$$

$$Q_{Ga} - Q_{Da} = V_a \sum_{n=1}^{NB} V_b (G_{ab} \sin(\theta_a - \theta_b) + B_{ab} \cos(\theta_a - \theta_b)) \quad (2.45)$$

Batasan *Optimal Power Flow* (OPF) adalah sebagai berikut:

Batasan kapasitas pembangkit

$$P_{Gi, \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi, \max} \quad (2.46)$$

$$Q_{Gi, \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi, \max} \quad (2.47)$$

Batasan tegangan

$$V_{m, \min} \leq V_m \leq V_{m, \max} \quad (2.48)$$

Batasan saluran

$$S_l \leq S_{l, \max} \quad (2.49)$$

Walaupun perluasan OPF mencakup operasi penelitian dan sistem kelistrikan, aksesibilitas literatur mengenai OPF sangat banyak di kalangan komunitas teknik kelistrikan. OPF telah cukup akrab dengan komunitas sistem tenaga listrik dilihat dari literatur terbaru, termasuk makalah survei, dimana dapat mengasumsikan banyak pengetahuan dari

pihak pembaca. Pada beberapa makalah bahkan yang menyertakan formulasi lengkap dari OPF, kurang lebih menjelaskan keterangan-keterangan tentang fungsi atau batasan objektif.

2.3.2 Pengaplikasian *Optimal Power Flow* [7]

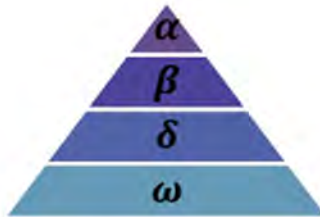
Dalam fleksibilitas yang dimiliki, *Optimal Power Flow* memiliki banyak aplikasi:

- a. Perhitungan pola pembangkitan yang optimal, berlaku untuk semua kontrol variabel, untuk mencapai biaya minimum pembangkitan dengan memenuhi keterbatasan sistem transmisi.
- b. Penggunaan baik sistem daya pada saat ini atau beban pada jangka pendek, OPF dapat diatur untuk memberikan “*preventative dispatch*” jika kendala keamanan dimasukkan.
- c. Dalam keadaan darurat, dimana beberapa komponen sistem terjadi kelebihan beban atau satu bus sedang melanggar batas tegangan, OPF dapat memberikan “*corrective dispatch*” yang memberi tahu operator sistem tentang penyesuaian apa saja yang dibuat untuk meringankan pelanggaran pada beban atau tegangan yang berlebihan.
- d. OPF dapat digunakan secara berkala dalam menemukan pengaturan optimal pada tegangan pembangkitan, tap *transformator* dan nilai kapasitor atau *static VAR compensator* (biasa disebut dengan “*Voltage-VAR*” optimisasi.
- e. OPF sering digunakan dalam studi perencanaan untuk menentukan tekanan maksimum dimana sistem transmisi yang dirancang dapat bertahan lama. Contoh OPF dapat menghitung daya maksimum yang aman saat terjadi *transfer* antara area jaringan yang satu ke area jaringan lainnya.
- f. OPF dapat digunakan dalam analisis ekonomi dari suatu sistem tenaga dengan cara menyediakan “*Bus Incremental Costs*” (BICs). BICs berguna untuk menentukan biaya rata-rata untuk daya di setiap bus dalam sistem. Demikian juga, OPF dapat digunakan untuk menghitung biaya tambahan atau biaya rata-rata dari transmisi daya dari satu perusahaan ke perusahaan lainnya.

2.4 Grey Wolf Optimization [8]

Serigala abu-abu (*Grey Wolf*) dikenal sebagai *Apex Predator*, artinya mereka berada di tingkat teratas dalam rantai makanan. Sebagian besar serigala abu-abu lebih memilih tinggal secara berkelompok. Dalam satu kelompok rata-rata terdapat 5-12 ekor.

Yang menjadi pusat perhatian pada kehidupan serigala abu-abu ini adalah terdapat tingkatan sosial didalam suatu kelompok. Tingkatan tersebut adalah *Alpha*, *Beta*, *Omega*, dan *Delta*.



Gambar 2.3 Tingkatan Sosial Serigala Abu-Abu

Sumber: Seyedali Mirjalili, 2014

Serigala *Alpha* atau yang sering dikenal dengan serigala dominan merupakan pemimpin kelompok. Pemimpin bisa saja perempuan atau laki-laki. Tanggung jawab dari serigala *Alpha* yaitu membuat keputusan dalam berburu, pencarian tempat untuk tidur, waktu untuk bangun dan lainnya. Keputusannya tersebut menjadi keputusan/perintah utama di dalam suatu kelompok. Untuk menjadi serigala *Alpha*, tidak harus menjadi yang kuat dalam kelompok, tetapi yang bisa mengatur kelompok secara baik.

Dalam *level* kedua dalam tingkatan serigala abu-abu adalah serigala *Beta*. Serigala *Beta* menjadi *subordinate* (bagian kedua) yang membantu serigala *Alpha* dalam pengambilan keputusan atau kegiatan lainnya dalam suatu kelompok. Serigala *Beta* bisa saja perempuan atau laki-laki. Tanggung jawab serigala ini adalah menjadi penasihat serigala

Alpha, pengganti serigala *Alpha* jika mati atau menjadi tua, dan meyakinkan kelompok akan keputusan yang dibuat oleh serigala *Alpha* lalu memberi tahu jawaban/tanggapan kelompok akan keputusan tersebut kepada serigala *Alpha*.

Tingkatan terakhir dalam serigala abu-abu adalah serigala *Omega*. Serigala *Omega* berperan menjadi korban dalam suatu kelompok. Korban yang dimaksud adalah jika terjadi suatu permasalahan pada kelompok, serigala *Omega* ini lah yang menjadi pelampiasan para serigala demi menghilangkan kekerasan antar serigala dan melepaskan perasaan frustrasi. Tidak hanya menjadi korban, serigala *Omega* juga berperan sebagai pengasuh untuk beberapa kasus. Serigala *Omega* merupakan serigala yang terakhir dalam urutan pembagian makanan.

Jika serigala tersebut tidak memiliki peran sebagai serigala *Alpha*, serigala *Beta* dan serigala *Omega*, mereka dapat disebut sebagai serigala *Delta*. Serigala *Delta* harus tunduk dan patuh terhadap serigala *Alpha* dan *Beta*, tetapi tidak untuk serigala *Omega*. Ia dapat menjadi dominan akan serigala *Omega*. Ada beberapa macam tipe serigala *Omega*:

a. Pengintai (*Scout*)

Memiliki tanggung jawab untuk melihat area perbatasan dan memberi peringatan kepada kelompok jika ada bahaya.

b. Penjaga (*Sentinel*)

Memiliki tanggung jawab untuk melindungi dan menjamin keselamatan kelompok.

c. Para Tua-Tua (*Elder*)

Para tua-tua adalah memiliki pengalaman lebih daripada serigala *Alpha* dan *Beta*.

d. Pemburu (*Hunter*)

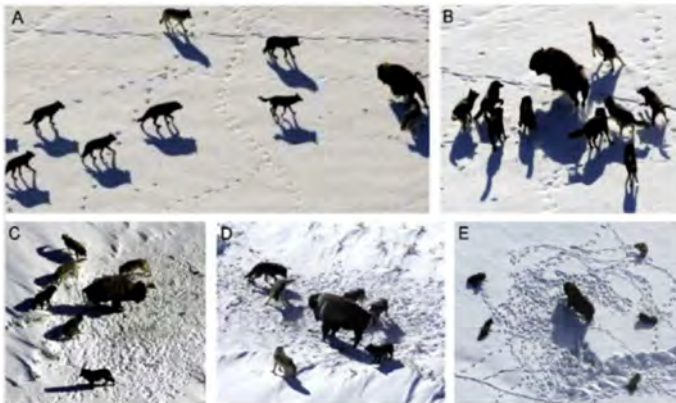
Memiliki tanggung jawab untuk membantu serigala *Alpha* dan *Beta* ketika berburu mangsa dan mendapatkan makanan bagi kelompok.

e. Pemelihara (*Caretaker*)

Memiliki tanggung jawab untuk mengurus serigala yang lemah, sakit dan terluka dalam kelompok.

Selain tingkatan sosial, serigala abu-abu memiliki hal menarik lainnya untuk dijadikan referensi dalam sistem optimasi, yaitu teknik berburu. Teknik berburu serigala abu-abu pada umumnya yaitu:

- Melacak, mengejar dan mendekati mangsa
- Mengejar, mengitari, dan menggoda mangsa sampai berhenti bergerak
- Menyerang mangsa secara langsung



Gambar 2.4 Langkah-Langkah dalam Teknik Berburu

Sumber: Seyedali Mirjalili, 2014

Dalam permodelan matematika pada *Grey Wolf Optimization* ada 2 hal yang menjadi inspirasi untuk teknik optimasi, yaitu tingkatan sosial dan teknik berburu.

2.4.1 Tingkatan Sosial (*Social Hierarchy*)

Permodelan matematika yang dipakai pada tingkatan social serigala abu-abu adalah serigala *Alpha* dijadikan sebagai solusi terbaik. Kemudian, serigala *Beta* dan *Delta* merupakan solusi terbaik kedua dan

ketiga. Lalu kandidat solusi terakhir dijadikan sebagai serigala *Omega*. Dalam algoritma *Grey Wolf Optimization* (GWO), teknik berburu dikendalikan oleh serigala *Alpha*, *Beta* dan *Delta*. Sedangkan *Omega* mengikuti ketiga serigala tersebut.

2.4.2 Mengitari Mangsa (*Encircling Prey*)

Seperti yang dikatakan sebelumnya, serigala abu-abu sebelum melakukan penyerangan, mereka akan mengitari sang mangsa terlebih dahulu. Permodelan matematika dalam tindakan mengitari mangsa adalah sebagai berikut:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.50)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.51)$$

Komponen t dijadikan sebagai iterasi terakhir, \vec{A} dan \vec{C} adalah koefisien vektor, \vec{X}_p adalah vektor posisi dari mangsa, dan \vec{X} dijadikan sebagai vektor posisi dari serigala abu-abu.

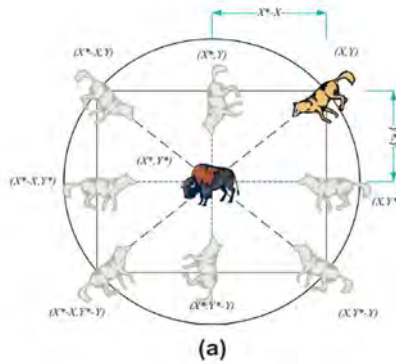
Vektor \vec{A} dan \vec{C} dihitung dengan ketentuan:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (2.52)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (2.53)$$

Dimana komponen dari \vec{a} adalah turunan linier dari nilai 2 ke 0 selama iterasi berlangsung dan r_1, r_2 adalah random dari vektor $[0,1]$.

Berikut adalah ilustrasi dari *updating position* dalam 2 dimensi vektor.



Gambar 2.5 Pergantian posisi dalam teknik mengitari mangsa
Sumber: Seyedali Mirjalili, 2014

Serigala abu-abu melakukan pergantian posisi bergantung pada letak mangsa yang akan diserang. Seperti pada gambar diatas, posisi awal (X, Y) dapat berpindah tempat menjadi posisi (X'', Y'') . Perbedaan posisi di sekitar best agent dapat dicapai berdasarkan posisi terakhir dengan cara menyesuaikan nilai dari \vec{A} dan \vec{C} . Konsep perpindahan posisi ini dapat diperluas hingga beberapa dimensi untuk mendapatkan solusi yang terbaik.

2.4.3 Berburu (*Hunting*)

Serigala abu-abu memiliki kemampuan untuk mendeteksi lokasi dimana terdapat mangsa dan langsung mengitari mangsa tersebut. Secara umum, pemburuan dipimpin oleh serigala *Alpha*. Serigala *Beta* dan *Delta* mungkin juga berpartisipasi dalam pemburuan di waktu tertentu. Dalam permodelan matematika, perilaku serigala saat berburu dijadikan bahan simulasi. Kunci utama pada pemburuan ini adalah kemampuan para serigala abu-abu. Setelah itu, tiga serigala yang ikut berburu (serigala *Alpha*, *Beta* dan *Delta*) merupakan tiga solusi terbaik dan serigala yang lainnya dipaksakan untuk memperbarui posisi mereka sesuai dengan posisi yang ditentukan oleh *best search agents*. Berikut merupakan rumus dari permodelan matematika pada sikap berburu:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \quad (2.54)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha) \quad (2.55)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (2.56)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad (2.57)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (2.58)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (2.59)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (2.60)$$

Dari rumus diatas dapat disimpulkan bahwa posisi terakhir (final position) akan berada di suatu posisi yang acak dimana masih dalam jangkauan lingkaran yang ditetapkan oleh serigala *Alpha*, *Beta* dan *Delta* pada suatu ruang pencarian. Sehingga tugas dari serigala *Alpha*, *Beta* dan *Delta* ada mempekirakan posisi dari mangsa, sedangkan serigala lainnya memperbarui posisi mereka secara acak tetapi tetap mengitari mangsa.

2.4.4 Menyerang Mangsa (*Attacking Prey*)

Serigala abu-abu menyelesaikan pemburuannya dengan menyerang mangsa ketika mangsanya tidak lagi bergerak. Dalam permodelan matematika, pendekatan terhadap mangsa dilakukan dengan cara menurunkan nilai \vec{a} . Menjadi catatan bahwa jarak fluktuasi dari nilai \vec{A} bergantung pada penurunan nilai \vec{a} . Nilai \vec{A} adalah nilai acak dari interval $[-2a, 2a]$ dimana nilai a adalah penurunan dari nilai 2 hingga 0 untuk semua rangkaian iterasi. Ketika nilai random \vec{A} berada $[-1, 1]$, posisi selanjutnya dari search agent adalah di berbagai posisi antara posisi sekarang dan posisi mangsa.



Gambar 2.6 Keadaan dimana nilai $A < 1$
Sumber: Seyedali Mirjalili, 2014

2.4.5 Pencarian Mangsa (Search of Prey)

Sebagian besar serigala abu-abu mencari mangsa berdasarkan posisi serigala *Alpha*, *Beta* dan *Delta*. Mereka menyebar dari yang lainnya untuk mencari mangsa dan berkumpul untuk menyerang mangsa. Pada permodelan matematika, nilai \vec{A} digunakan dengan nilai acak dimana nilainya lebih besar dari 1 atau lebih kecil dari -1 untuk membantu *search agent* dalam hal menyebar dari mangsa.



Gambar 2.7 Keadaan dimana nilai $A > 1$
Sumber: Seyedali Mirjalili, 2014

Komponen lainnya dalam Grey Wolf Optimization (GWO) adalah nilai \vec{C} . Nilai vektor \vec{C} berupa nilai random dari $[0,2]$. Komponen ini mengandung nilai acak dari mangsa secara stokastik. Terdapat 2 keadaan yaitu keadaan tertekan ($C > 1$) atau keadaan tidak tertekan ($C < 1$) saat terjadi perburuan dimana jarak diperhitungkan. Hal tersebut dapat membantu GWO untuk menunjukkan perilaku acak lainnya selama optimasi, membantu eksplorasi dan menghindari *local optima*. Nilai C tidak menurun secara *linear* seperti nilai A . Nilai ini sangat membantu *local optima stagnation*, terutama pada iterasi terakhir. Vektor C juga dapat dijadikan sebagai efek dari penghambat dalam mendekati mangsa di alam liar. Penghambat muncul pada jalur berburu para serigala dan itu sangat mengganggu para serigala mendekati mangsa secara cepat.

Hal-hal yang menjadi catatan penting dalam *Grey Wolf Optimization* yaitu:

- Tingkatan sosial dalam GWO digunakan untuk menyimpan solusi terbaik dalam rangkaian iterasi.
- Mekanisme mengitari musuh menetapkan solusi dalam area berbentuk lingkaran dimana dapat dikembangkan ke dimensi yang lebih besar.
- Nilai random A dan C membantu kandidat solusi dalam lingkup yang lebih besar dengan nilai jari-jari yang random.
- Metode berburu memperbolehkan kandidat solusi untuk menempatkan posisi mangsa yang paling memungkinkan.
- Eksplorasi dan eksploitasi ditanggung oleh nilai adaptif dari a dan A .
- Nilai adaptif dari parameter a dan A memperbolehkan GWO untuk melakukan transisi secara halus saat antara eksplorasi dan eksploitasi terjadi.
- Dengan turunnya nilai A , sebagian dari iterasi bekerja dalam eksplorasi ($|A| \geq 1$) dan sebagian lainnya bekerja dalam eksploitasi ($|A| < 1$).
- GWO hanya memiliki 2 parameter utama yang harus diatur sesuai keadaan yaitu nilai a dan C .

2.5 Optimal Power Flow dengan Efek Katup

Berdasarkan *traditional dispatch* diketahui bahwa efisiensi sebuah pembangkit naik secara kuadratik, piece-wise linearly atau bahkan linear sesuai dengan output. Dalam kehidupan sehari-hari, katup berfungsi untuk mengendalikan uap yang masuk ke turbin melalui mulut pipa masing-masing. Tiap mulut pipa akan memperoleh efisiensi terbaik ketika beroperasi dalam keadaan full output. Ketika menaikkan output pada suatu pembangkit, katup terbuka secara urut untuk mencapai efisiensi tertinggi sesuai dengan output yang diberikan. Semakin banyak katup yang dimiliki sebuah turbin, semakin kecil efisiensi antar ujung katup. [9]

Pada *Optimal Power Flow* terdapat *objective function* yang dapat didefinisikan sebagai total biaya bahan bakar termurah dari suatu sistem pembangkit. Menurut rumus yang telah disampaikan pada bab sebelumnya, terdapat variabel a,b,c dimana variabel tersebut adalah koefisien dari biaya bahan bakar pada tiap generator.

Unit pembangkit dengan katup uap dan turbin yang banyak akan menunjukkan beberapa variasi dari fungsi biaya bahan bakar. Karena hasil dari efek katup adalah riak seperti pada gambar 3.1, fungsi biaya memiliki nilai fungsi non-linear yang tinggi. Terdapat penambahan fungsi sinusoidal pada persamaan fungsi aliran daya. Hal tersebut disebabkan karena adanya aktifitas pembukaan katup yang bertujuan untuk mengatasi perubahan beban. Maka dari itu, rumus OPF dengan biaya kuadratik harus digantikan dengan rumus berikut dalam mempertimbangkan efek katup [10]:

$$F_i(PG_i) = a_i + b_i PG_i + c_i PG_i^2 + |e_i \sin[f_i(PG_{i\min} - PG_i)]| \quad (3.1)$$

keterangan

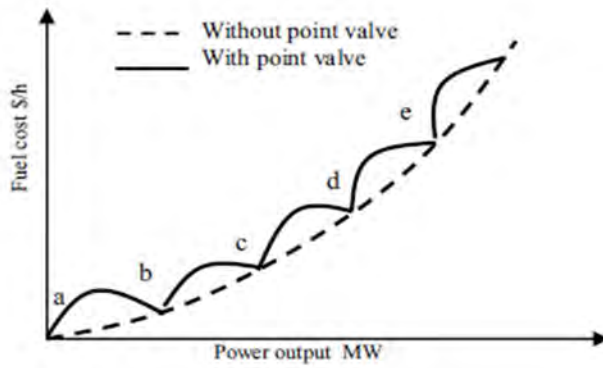
$F_i(PG_i)$: biaya operasi unit pembangkit ke-i (Rp/h)

PG_i : daya keluaran unit pembangkit ke-i (MW)

$PG_{i\min}$: daya minimum unit pembangkit ke-i (MW)

a_i, b_i, c_i : koefisien biaya bahan bakar unit pembangkit

e_i, f_i : koefisien biaya bahan bakar akibat efek *valve-point*



Gambar 2.8 Kurva biaya bahan bakar dengan daya output sistem
Sumber: Mohd Herwan, 2015

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

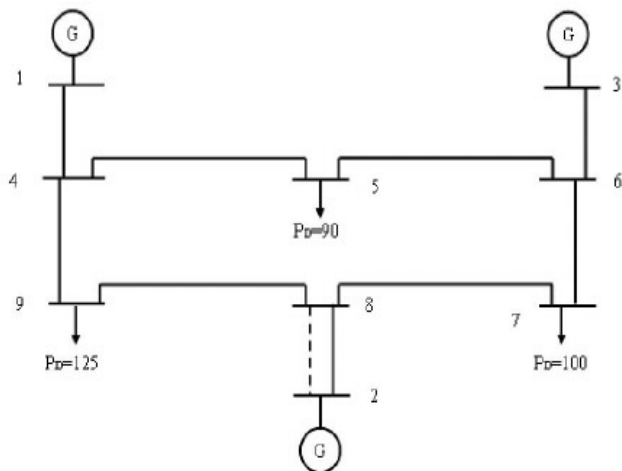
OPTIMAL POWER FLOW DENGAN GREY WOLF OPTIMIZATION

3.1 Sistem IEEE 9 Bus dan 30 Bus

Dalam tugas akhir ini, data yang digunakan untuk memenuhi *Optimal Power Flow* adalah sistem data IEEE 9 Bus dan 30 Bus. Pada bagian ini, diuraikan data beban, pembangkitan, saluran dan koefisien biaya bahan bakar.

3.1.1 Data Single Line IEEE 9 Bus

Sistem transmisi IEEE 9 Bus memiliki 9 bus, 3 generator, dan 9 saluran.



Gambar 3.2 Single Line Diagram sistem IEEE 9 bus

Sumber: Javad Nikoukar, 2011

Tabel 3.1 Data bus dan beban sistem IEEE 9 bus

Nomor Bus	Jenis Bus	Beban		Pembangkitan	
		MW	MVAR	MW	MVAR
1	<i>Slack</i>	0	0	0	0
2	Generator	0	0	163	0
3	Generator	0	0	85	0
4	Beban	0	0	0	0
5	Beban	90	30	0	0
6	Beban	0	0	0	0
7	Beban	100	35	0	0
8	Beban	0	0	0	0
9	Beban	125	50	0	0

Tabel 3.2 Data saluran sistem IEEE 9 bus

Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)	B (pu)	Kapasitas Saluran (MVA)
1	4	0	0.0576	0	250
4	5	0.017	0.092	0.079	250
5	6	0.039	0.17	0.179	150
3	6	0	0.0586	0	300
6	7	0.0119	0.1008	0.1045	150
7	8	0.0085	0.072	0.0745	250
8	2	0	0.0625	0	250
8	9	0.032	0.161	0.153	250
9	4	0.01	0.085	0.088	250

Tabel 3.3 Fungsi biaya sistem IEEE 9 bus

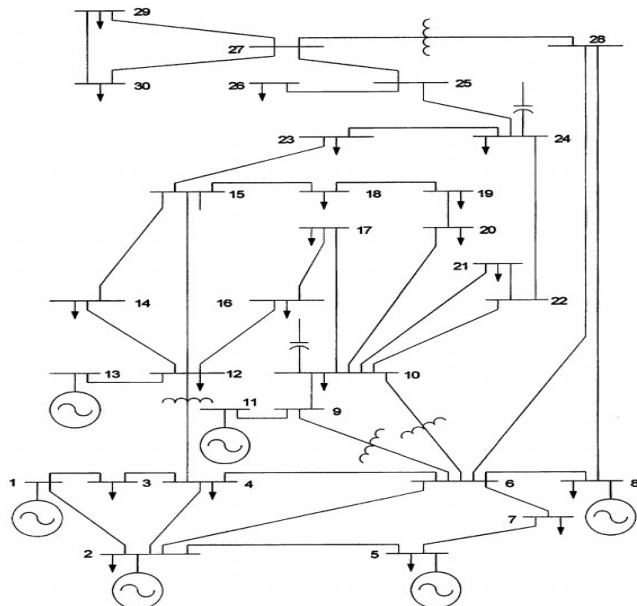
No. Bus	Koefisien Biaya (<i>non-smooth</i>)				
	a	b	c	e	f
1	150	5	0.11	100	0.063
2	600	1.2	0.085	200	0.063
3	335	1	0.1225	200	0.084

Tabel 3.4 Batasan kemampuan generator IEEE 9 bus

No. Bus	Pmin (MW)	Pmax (MW)
1	10	250
2	10	300
3	10	270

3.1.2 Data Single Line IEEE 30 Bus

Sistem transmisi IEEE 30 Bus memiliki 30 bus, 6 generator dan 41 saluran.



Gambar 3.3 Single Line Diagram sistem IEEE 30 Bus

Sumber: Abdel Fattah, 2012

Tabel 3.5 Data bus dan beban bistem IEEE 30 bus

Nomor Bus	Jenis Bus	Beban		Pembangkitan	
		MW	MVAR	MW	MVAR
1	<i>Slack</i>	0	0	260.2	-16.1
2	Generator	21.7	12.7	40	50
3	Beban	2.4	1.2	0	0
4	Beban	7.6	1.6	0	0
5	Generator	94.2	1.9	0	37
6	Beban	0	0	0	0
7	Beban	22.8	10.9	0	0
8	Generator	30.0	30.0	0	37.3
9	Beban	0	0	0	0
10	Beban	5.8	2.0	0	0
11	Generator	0	0	0	16.2
12	Beban	11.2	7.5	0	0
13	Generator	0	0	0	10.6
14	Beban	6.2	1.6	0	0
15	Beban	8.2	2.5	0	0
16	Beban	3.5	1.8	0	0

Tabel 3.5 Data bus dan beban sistem IEEE 30 bus (lanjutan)

Nomor Bus	Jenis Bus	Beban		Pembangkitan	
		MW	MVAR	MW	MVAR
17	Beban	9.0	5.8	0	0
18	Beban	3.2	0.9	0	0
19	Beban	9.5	3.4	0	0
20	Beban	2.2	0.7	0	0
21	Beban	17.5	11.2	0	0
22	Beban	0	0	0	0
23	Beban	3.2	1.6	0	0
24	Beban	8.7	6.7	0	0
25	Beban	0.0	0.0	0	0
26	Beban	3.5	2.3	0	0
27	Beban	0	0	0	0
28	Beban	0	0	0	0
29	Beban	2.4	0.9	0	0
30	Beban	10.6	1.9	0	0

Tabel 3.6 Data saluran sistem IEEE 30 bus

Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)	B (pu)	Kapasitas Saluran (MVA)
1	2	0.0192	0.0575	0.0264	130
1	3	0.0452	0.1652	0.0204	130
2	4	0.057	0.1737	0.0184	65
3	4	0.0132	0.0379	0.0042	130
2	5	0.0472	0.1983	0.0209	130
2	6	0.0581	0.1763	0.0187	65
4	6	0.0119	0.0414	0.0045	90
5	7	0.046	0.116	0.0102	70

Tabel 3.6 Data saluran sistem IEEE 30 bus (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)	B (pu)	Kapasitas Saluran (MVA)
6	7	0.0267	0.082	0.0085	130
6	8	0.012	0.042	0.0045	32
6	9	0	0.208	0	65
6	10	0	0.556	0	32
9	11	0	0.208	0	65
9	10	0	0.11	0	65
4	12	0	0.256	0	65
12	13	0	0.14	0	65
12	14	0.1231	0.2559	0	32
12	15	0.0662	0.1304	0	32
12	16	0.0945	0.1987	0	32
14	15	0.221	0.1997	0	16
16	17	0.0524	0.1923	0	16
15	18	0.1073	0.2185	0	16
18	19	0.0639	0.1292	0	16
19	20	0.034	0.068	0	32
10	20	0.0936	0.209	0	32
10	17	0.0324	0.0845	0	32
10	21	0.0348	0.0749	0	32
10	22	0.0727	0.1499	0	32
21	22	0.0116	0.0236	0	32
15	23	0.1	0.202	0	16
22	24	0.115	0.179	0	16
23	24	0.132	0.27	0	16
24	25	0.1885	0.3292	0	16
25	26	0.2544	0.38	0	16

Tabel 3.6 Data saluran sistem IEEE 30 bus (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)	B (pu)	Kapasitas Saluran (MVA)
25	27	0.1093	0.2087	0	16
28	27	0	0.396	0	65
27	29	0.2198	0.4153	0	16
27	30	0.3202	0.6027	0	16
29	30	0.2399	0.4533	0	16
8	28	0.0636	0.2	0.0214	32
6	28	0.0169	0.0599	0.0065	32

Tabel 3.7 Fungsi biaya sistem IEEE 30 bus

No. Bus	Koefisien Biaya (<i>non-smooth</i>)				
	a	b	c	e	f
1	0	2	0.00375	100	0.063
2	0	1.75	0.0175	200	0.063
5	0	1	0.0625	200	0.084
8	0	3.25	0.00834	300	0.042
11	0	3	0.025	100	0.042
13	0	3	0.025	100	0.077

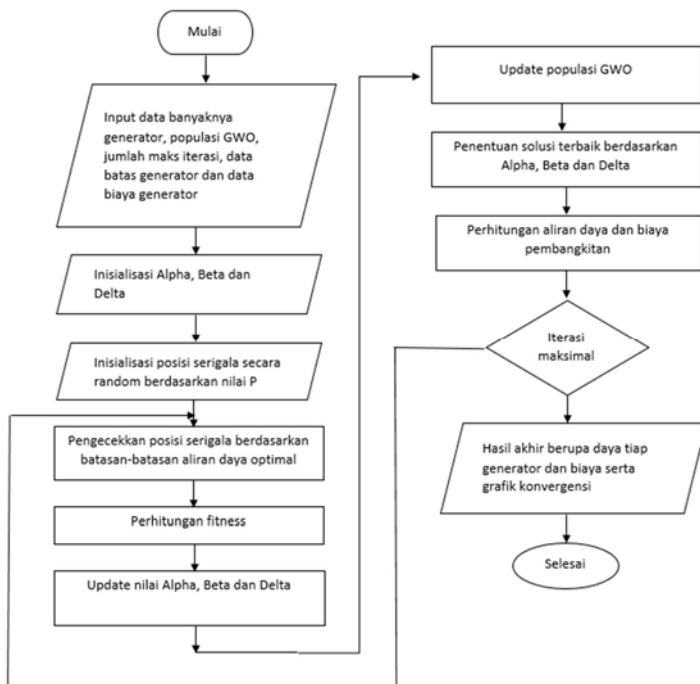
Tabel 3.8 Batasan kemampuan generator sistem IEEE 30 bus

No. Bus	Pmin (MW)	Pmax (MW)
1	50	200
2	20	80
5	15	50
8	10	35
11	10	30
13	12	40

3.2 Penyelesaian Optimal Power Flow dengan Efek Katup menggunakan Algoritma GWO

Simulasi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan OPF pada sistem IEEE 9 Bus dan 30 Bus adalah menggunakan metode GWO. GWO merupakan sebuah algoritma yang terinspirasi dari tingkah laku demokratis dan mekanisme berburu oleh serigala abu-abu. Terdapat tiga komponen penting dalam algoritma ini yaitu serigala Alpha, Beta dan Delta. Komponen tersebut merupakan komponen yang menjadi representatif dari solusi terbaik untuk permasalahan OPF.

Berikut ini diagram alur dari penyelesaian OPF dengan efek katup menggunakan algoritma GWO.



Gambar 3.4 Diagram Alur GWO

3.2.1 Inisialisasi Awal

Proses OPF dengan menggunakan algoritma GWO diawali dengan menentukan nilai-nilai parameter yang dibutuhkan. Parameternya yaitu:

- a. Jumlah populasi : 300
- b. Jumlah Iterasi maksimal : 200
- c. Banyaknya generator : sesuai sistem IEEE 9 bus dan 30 Bus.

Jumlah populasi adalah banyaknya individu yang dibangkitkan pada penyelesaian OPF. Jumlah iterasi maksimal adalah jumlah maksimal pengulangan proses menggunakan metode GWO. Dan banyaknya generator merupakan data banyak generator yang dibangkitkan sesuai sistem data IEEE 9 Bus dan 30 Bus. Selain nilai parameter diatas, *Alpha*, *Beta* dan *Delta* juga harus diinisialisasi. Inisialisasi disesuaikan berdasarkan tingkat sosial pada metode GWO dimana *Alpha* merupakan hasil terbaik sesuai fungsi objektif. Begitu juga dengan posisi serigala. Inisialisasi posisi serigala disesuaikan berdasarkan nilai daya (P) secara acak pada tiap generator yang dibangkitkan.

3.2.2 Pengecekan Posisi GWO

Setelah parameter data dibangkitkan dan posisi GWO dimasukkan secara random, langkah selanjutnya adalah pengecekan posisi serigala berdasarkan fungsi objektif. Perhitungan permasalahan OPF diawali dengan perhitungan ED terlebih dahulu, maka dari itu batasan-batasan yang harus dipenuhi adalah

$$\sum_{i=1}^N P_{Gi} - P_D - P_{loss} = 0 \quad (3.1)$$

Total daya pembangkitan merupakan jumlah dari total daya permintaan dan total daya beban. Selain batasan yang ada diatas, posisi GWO juga harus memenuhi batasan dimana nilai daya generator yang didapatkan berada diantara nilai daya generator minimal (P_{min}) dan daya generator maksimal (P_{maks}).

3.2.3 Memperbarui Nilai Alpha, Beta dan Delta

Inisialisasi nilai Alpha, Beta dan Delta pada langkah awal bukanlah nilai akhir. Nilainya akan terus berubah seiring dengan hasil pengecekan posisi serigala berdasarkan batasan-batasan aliran daya optimal. Setelah melakukan perbaruan nilai, nilai akan keluar sesuai dengan peran masing-masing fungsi yaitu Alpha membawa hasil terbaik pertama, Beta membawa hasil terbaik kedua dan Delta membawa hasil terbaik ketiga.

3.2.4 Perhitungan Fitness

Nilai Alpha, Beta dan Delta telah diperbarui maka dari itu nilai-nilai tersebut akan dihitung berdasarkan perilaku serigala saat mengitari musuh dan berburu. Saat mengitari musuh, permodelan matematika nya adalah sebagai berikut:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (3.2)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3.3)$$

Vektor \vec{A} dan \vec{C} dihitung dengan ketentuan:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3.4)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (3.5)$$

Rumus diatas dijadikan sebagai salah satu parameter pembaharuan posisi serigala. Permodelan matematika dalam hal mengitari mangsa berguna untuk mengecek apakah nilai pembaharuan Alpha, Beta dan Delta tetap berada pada range yang sesuai dengan algoritma GWO dimana nilai r1 dan r2 antara 0 hingga 1. Langkah berikutnya adalah membaharui posisi serigala berdasarkan permodelan matematika dari berburu. Permodelan matematikanya adalah berikut:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \quad (3.6)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha) \quad (3.7)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (3.8)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad (3.9)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (3.10)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (3.11)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (3.12)$$

Perhitungan yang telah dilakukan pada saat mengitari mangsa, dilakukan kembali pada tiap *best search agent* yaitu Alpha, Beta dan Delta. Lalu *search agent* lainnya akan membaharui posisinya sesuai dengan *best search agent*. Nilai A saat berburu akan kurang dari 1 ketika mangsa tidak bergerak sehingga mendorong serigala untuk menyerang. Tetapi ketika nilai A lebih besar dari 1 maka serigala tidak akan melakukan penyerangan.

3.3 Implementasi GWO pada OPF

Tabel 3.9 Implementasi GWO

No	Grey Wolf Optimization	Optimal Power Flow
1.	Tingkatan Sosial	Penentuan tingkatan solusi terbaik (Alpha, Beta, Delta) pada aliran daya optimal
2.	Mengitari Mangsa	Mendapatkan jumlah populasi untuk iterasi selanjutnya
3.	Berburu	Nilai P_g tiap tingkatan Alpha, Beta, Delta untuk iterasi selanjutnya
4.	Menyerang Mangsa	Mengubah nilai P agar tidak sama dalam tiap iterasi

Tabel 3.10 Implementasi GWO (lanjutan)

No	Grey Wolf Optimization	Optimal Power Flow
5,	Pencarian Mangsa	Dasar untuk melakukan perhitungan vektor A apakah sesuai atau tidak. Jika sesuai, <i>objective function</i> dihitung
6.	Serigala Alpha	Hasil terbaik pertama dari <i>objective function</i> tiap iterasi
7.	Serigala Beta	Hasil terbaik kedua dari <i>objective function</i> tiap iterasi
8.	Serigala Delta	Hasil terbaik ketiga dari <i>objective function</i> tiap iterasi

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bagian ini akan dibahas mengenai analisis hasil dari simulasi aliran daya optimal dengan efek katup menggunakan metode GWO. Simulasi dan analisis ini digunakan untuk membandingkan hasil dari analisis aliran daya optimal metode GWO dengan metode yang telah dilakukan sebelumnya yaitu metode MHBMO serta menguji hasil dari aliran daya optimal berdasarkan ketentuan dan batasan menggunakan metode GWO. Data sistem yang digunakan yaitu:

1. Sistem IEEE 9 Bus
2. Sistem IEEE 30 Bus

Simulasi akan dilakukan dua kali sesuai data. Pada simulasi bagian pertama, sistem IEEE 9 Bus akan diuji dengan menggunakan metode GWO. Hasil pengujian akan menunjukkan kehandalan dari metode GWO. Hasil simulasi tersebut akan dianalisis berdasarkan adanya pengaruh efek katup pada perhitungan aliran daya optimal terhadap biaya tiap pembangkitan. Biaya pembangkitan yang didapat pada tiap pembangkit maupun secara total akan dibandingkan dengan metode MHMBO. Pada simulasi bagian kedua, sistem IEEE 30 Bus akan diuji dengan menggunakan metode GWO. Hasil pengujiannya juga akan dianalisis berdasarkan pengaruh efek katup. Dan biaya pembangkitan yang dihasilkan juga akan dibandingkan dengan metode MHBMO.

4.1 Sistem Data IEEE 9 Bus

Simulasi perhitungan aliran daya optimal pada bagian pertama akan menggunakan data sistem IEEE 9 Bus. Dengan metode GWO, akan dilihat bagaimana pengaruh efek katup pada sistem ini dan juga akan membandingkan biaya bahan bakar dengan metode yang telah dilakukan yaitu metode MHBMO. Berikut adalah hasil dari simulasi aliran daya optimal pada sistem IEEE 9 Bus.

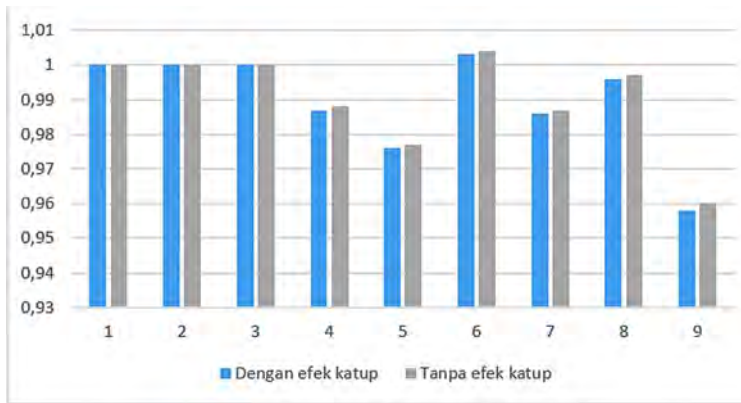
4.1.1 Perbandingan Tegangan

Pada simulasi aliran daya menggunakan metode GWO, ditentukan batasan tegangan yaitu $0.95 \leq V_m \leq 1.06$. Hasil simulasi tersebut akan dilihat bagaimana pengaruh efek katup pada sistem IEEE 9 Bus. Berikut adalah hasil dari simulasi:

Tabel 4.1 Perbandingan nilai tegangan sistem IEEE 9 Bus dengan GWO

Bus No	Akibat efek katup (V)	Tanpa efek katup (V)
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	0,987	0,988
5	0,976	0,977
6	1,003	1,004
7	0,986	0,987
8	0,996	0,997
9	0,958	0,96

Perbandingan nilai tegangan diatas dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang didapatkan menggunakan metode GWO baik dengan efek katup atau tanpa efek katup masih berada dalam batasan tegangan yang ditentukan. Berikut ini grafik perbandingan nilai tegangan tiap bus:



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan nilai tegangan dengan GWO

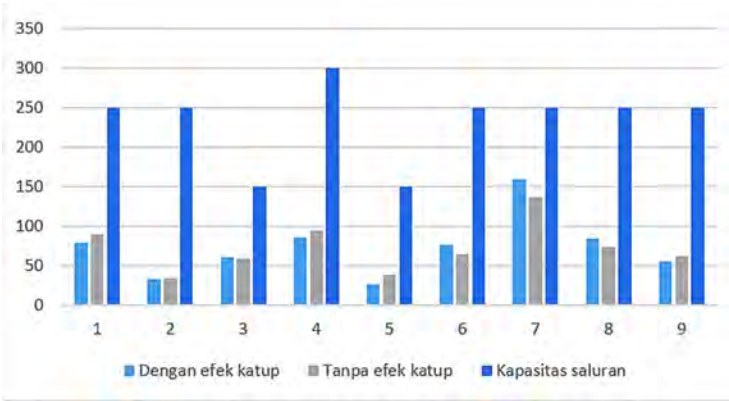
4.1.2 Perbandingan Aliran Daya

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, terdapat hasil simulasi perbandingan aliran daya akibat efek katup dan tanpa efek katup sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 9 Bus dengan GWO

BUS		Akibat efek katup (MVA)	Tanpa efek katup (MVA)	Kapasitas Saluran(MVA)
Dari	Ke			
1	4	79,196	90,024	250
4	5	32,139	33,955	250
5	6	60,399	58,788	150
3	6	84,828	95,049	300
6	7	25,669	37,505	150
7	8	75,584	64,111	250
8	2	159,466	137,079	250
8	9	84,198	73,974	250
9	4	55,662	62,063	250

Perbandingan nilai aliran daya menggunakan metode GWO dapat dilihat bahwa pengaruh efek katup tidak membuat nilai aliran daya melebihi kapasitas saluran. Berikut ini grafik perbandingan aliran daya tiap saluran:



Gambar 4.2 Grafik perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 9 Bus dengan GWO

4.1.3 Perbandingan Daya Pada Tiap Pembangkitan

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, hasil dari simulasi ini adalah berupa daya yang dibangkitkan saat menggunakan efek katup maupun tidak. Berikut hasil dari simulasi:

Tabel 4.3 Perbandingan nilai daya yang dibangkitkan sistem IEEE 9 Bus dengan GWO

Pembangkit	Daya (MW)		Batasan Daya (MW)	
	Akibat efek katup	Tanpa efek katup	Pmin	Pmax
P1	75,3367	87,7776	10	250
P2	159,567	136,0668	10	300
P3	84,8166	95,2386	10	270

Perbandingan nilai daya pada tiap pembangkitan dengan menggunakan metode GWO masih dalam batasan daya yang telah ditetapkan untuk tiap pembangkit.

4.1.4 Perbandingan Biaya Pembangkitan

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, hasil dari simulasi adalah biaya pembangkitan akan dibandingkan dalam dua hal yaitu berdasarkan pengaruh efek katup dan berdasarkan metode yang telah digunakan yaitu MHBMO. Berikut adalah hasil perbandingan biaya pembangkitan dengan metode GWO:

Tabel 4.4 Perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 9 Bus dengan GWO

Pembangkit	Daya (MW)		Biaya (\$/hr)	
	Akibat efek katup	Tanpa efek katup	Akibat efek katup	Tanpa efek katup
P1	75,3367	87,7776	1233,7509	1436,4275
P2	159,567	136,0668	2956,1305	2336,9856
P3	84,8166	95,2386	1301,3446	1541,3621
Total	319,7203	319,0871	5491,226	5314,7752

Perbandingan biaya dengan efek katup menggunakan metode GWO menunjukkan bahwa saat adanya akibat efek katup biaya yang dikeluarkan lebih mahal dibandingkan tanpa efek katup. Hal ini disebabkan karena adanya koefisien e dan f yang merupakan koefisien biaya bahan bakar. Perbandingan yang kedua yaitu membandingkan biaya pembangkitan dengan menggunakan metode GWO dan metode MHBMO. Berikut adalah gambar grafik perbandingan:



Gambar 4.3 Grafik perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 9 Bus dengan metode GWO dan MHBMO akibat efek katup

Total biaya pembangkitan yang dihasilkan menggunakan metode GWO akibat efek katup adalah 5491,226 \$/hr. Sedangkan menggunakan metode MHBMO adalah 5494,6866 \$/hr. Dapat dilihat bahwa menggunakan metode GWO biaya yang dihasilkan lebih murah dibandingkan menggunakan metode MHBMO.

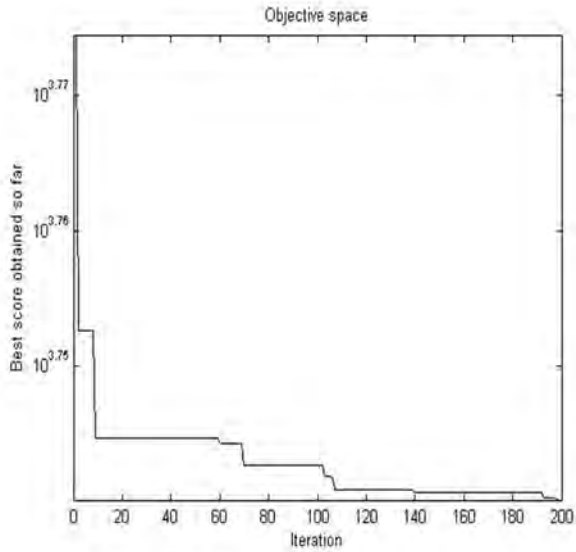


Gambar 4.4 Perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 9 Bus dengan metode GWO dan MHBMO tanpa efek katup

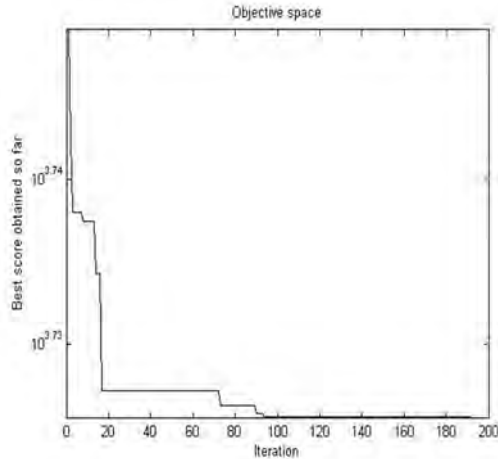
Total biaya pembangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan metode GWO tanpa efek katup adalah 5314,7752 \$/hr. Sedangkan dengan metode MHBMO lebih mahal yaitu 5316,04 \$/hr.

4.1.5 Grafik Konvergensi

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, hasil dari simulasi terdapat grafik konvergensi dimana akan dilihat pengaruh dari efek katup. Berikut ini adalah grafik konvergensi:



Gambar 4.5 Grafik konvergensi dengan efek katup sistem IEEE 9 Bus dengan GWO



Gambar 4.6 Grafik konvergensi tanpa efek katup sistem IEEE 9 Bus dengan GWO

Pada perbandingan grafik konvergensi diatas dapat dilihat bahwa saat tanpa menggunakan efek katup, sistem akan lebih mudah untuk mencapai nilai konvergen dibandingkan dengan menggunakan efek katup.

4.2 Sistem Data IEEE 30 Bus

Simulasi perhitungan aliran daya optimal pada bagian pertama akan menggunakan data sistem IEEE 30 Bus. Dengan metode GWO, akan dilihat bagaimana pengaruh efek katup pada sistem ini dan juga akan membandingkan biaya bahan bakar dengan metode yang telah dilakukan yaitu metode MHBMO. Berikut adalah hasil dari simulasi aliran daya optimal pada sistem IEEE 30 Bus.

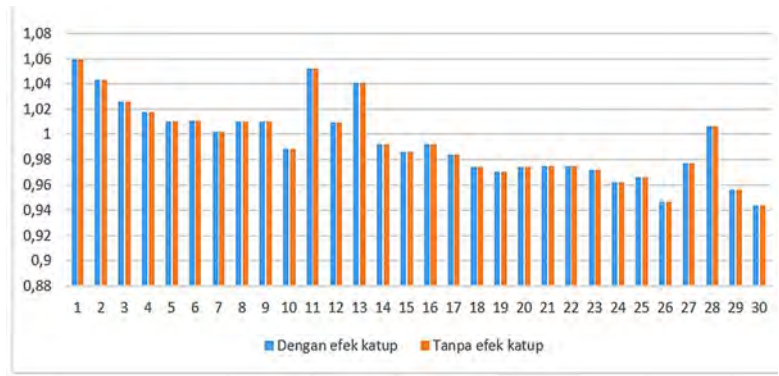
4.2.1 Perbandingan Tegangan

Pada simulasi aliran daya menggunakan metode GWO, ditentukan batasan tegangan yaitu $0.95 \leq V_m \leq 1.06$. Hasil simulasi tersebut akan dilihat bagaimana pengaruh efek katup pada sistem IEEE 30 Bus. Berikut adalah hasil dari simulasi:

Tabel 4.5 Perbandingan nilai tegangan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

Bus No	Tanpa efek katup (V)	Akibat efek katup (V)
1	1,06	1,06
2	1,043	1,043
3	1,026	1,026
4	1,018	1,018
5	1,01	1,01
6	1,011	1,011
7	1,002	1,002
8	1,01	1,01
9	1,01	1,01
10	0,988	0,988
11	1,052	1,052
12	1,009	1,009
13	1,041	1,041
14	0,992	0,992
15	0,986	0,986
16	0,992	0,992
17	0,984	0,984
18	0,974	0,974
19	0,97	0,97
20	0,974	0,974
21	0,975	0,975
22	0,975	0,975
23	0,972	0,972
24	0,962	0,962
25	0,966	0,966
26	0,947	0,947
27	0,977	0,977
28	1,006	1,006
29	0,956	0,956
30	0,944	0,944

Perbandingan nilai tegangan diatas dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang didapatkan menggunakan metode GWO baik dengan efek katup atau tanpa efek katup masih berada dalam batasan tegangan yang ditentukan. Berikut ini grafik perbandingan nilai tegangan tiap bus:



Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai tegangan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

4.2.2 Perbandingan Aliran Daya

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, terdapat hasil simulasi perbandingan aliran daya dengan efek katup dan tanpa efek katup sebagai berikut:

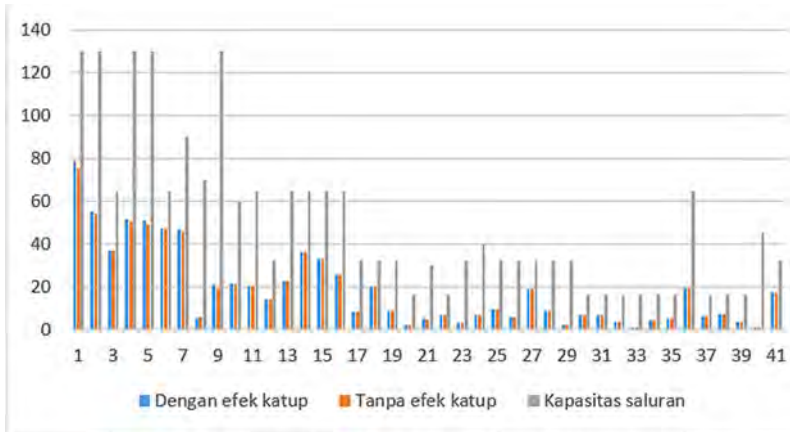
Tabel 4.6 Perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

BUS		Tanpa efek katup (MVA)	Akibat efek katup (MVA)	Kapasitas Saluran (MVA)
Dari	Ke			
1	2	79,085	75,078	130
1	3	55,327	54,125	130
2	4	36,759	36,682	65
3	4	51,559	50,425	130
2	5	51,149	49,099	130
2	6	47,327	46,979	65
4	6	46,764	45,632	90
5	7	5,16	5,469	70
6	7	21,14	19,672	130
6	8	21,317	21,311	60
6	9	20,214	20,254	65
6	10	14,139	14,161	32
9	11	22,707	22,699	65
9	10	36,462	36,49	65
4	12	32,978	32,93	65
12	13	25,612	25,607	65
12	14	8,533	8,527	32
12	15	20,184	20,158	32
12	16	8,97	8,945	32

Tabel 4.6 Perbandingan nilai aliran daya sistem IEEE 30 Bus dengan GWO (lanjutan)

BUS		Tanpa efek katup (MVA)	Akibat efek katup (MVA)	Kapasitas
Dari	Ke			Saluran (MVA)
14	15	2,067	2,063	16
16	17	4,95	4,928	30
15	18	6,649	6,634	16
18	19	3,279	3,265	32
19	20	6,87	6,887	40
10	20	9,339	9,355	32
10	17	5,916	5,945	32
10	21	18,932	18,935	32
10	22	9,049	9,051	32
21	22	2,102	2,099	32
15	23	6,853	6,842	16
22	24	6,829	6,835	16
23	24	3,361	3,355	16
24	25	1,09	1,097	16
25	26	4,271	4,271	16
25	27	5,365	5,372	16
28	27	19,485	19,495	65
27	29	6,43	6,43	16
27	30	7,307	7,307	16
29	30	3,758	3,758	16
8	28	0,876	0,881	45
6	28	17,29	17,301	32

Perbandingan nilai aliran daya menggunakan metode GWO dapat dilihat bahwa pengaruh efek katup tidak membuat nilai aliran daya melebihi kapasitas saluran.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan aliran daya sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

4.2.3 Perbandingan Daya Pada Tiap Pembangkitan

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, hasil dari simulasi ini adalah berupa daya yang dibangkitkan saat menggunakan efek katup maupun tidak. Berikut hasil dari simulasi:

Tabel 4.7 Perbandingan nilai daya yang dibangkitkan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

Pembangkit	Daya (MW)		Batasan Daya (MW)	
	Tanpa efek katup	Akibat efek katup	Pmin	Pmax
P1	128,9052	133,2258	50	250
P2	80	79,3447	20	80
P5	50	46,4089	15	50
P8	10	10,0012	10	55
P11	10	10	10	30
P13	12	12	12	40

Perbandingan nilai daya pada tiap pembangkitan dengan menggunakan metode GWO masih dalam batasan daya yang telah ditetapkan untuk tiap pembangkit.

4.2.4 Perbandingan Biaya Pembangkitan

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, hasil dari simulasi adalah biaya pembangkitan akan dibandingkan dalam dua hal yaitu berdasarkan pengaruh efek katup dan berdasarkan metode yang telah digunakan yaitu MHBMO. Berikut adalah hasil perbandingan biaya pembangkitan dengan metode GWO:

Tabel 4.8 Perbandingan biaya pembangkitan sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

Pembangkit	Daya (MW)		Biaya (\$/hr)	
	Akibat efek katup	Tanpa efek katup	Akibat efek katup	Tanpa efek katup
P1	133,2258	128,9052	267,5749	257,8142
P2	79,3447	80	151,2685	140,0175
P5	46,4089	80	46,5105	50,0625
P8	10,0012	10	32,5128	32,5083
P11	10	10	30,025	30,025
P13	12	12	36,025	36,025
Total	290,9806	290,9052	563,9168	546,4525

Perbandingan biaya dengan efek katup menggunakan metode GWO menunjukkan bahwa saat sistem menggunakan efek katup biaya yang dikeluarkan lebih mahal dibandingkan tanpa efek katup. Hal ini disebabkan karena adanya koefisien e dan f yang merupakan koefisien biaya bahan bakar. Perbandingan yang kedua yaitu membandingkan biaya pembangkitan dengan menggunakan metode GWO dan metode MHBMO. Berikut adalah gambar grafik perbandingan:



Gambar 4.9 Grafik perbandingan total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 Bus dengan metode GWO dan MHBMO tanpa efek katup

Total biaya pembangkitan yang dihasilkan menggunakan metode GWO tanpa efek katup adalah 546,4525 \$/h. Sedangkan menggunakan metode MHBMO adalah 780,2877 \$/h. Dapat dilihat bahwa menggunakan metode GWO biaya yang dihasilkan lebih murah dibandingkan menggunakan metode MHBMO.

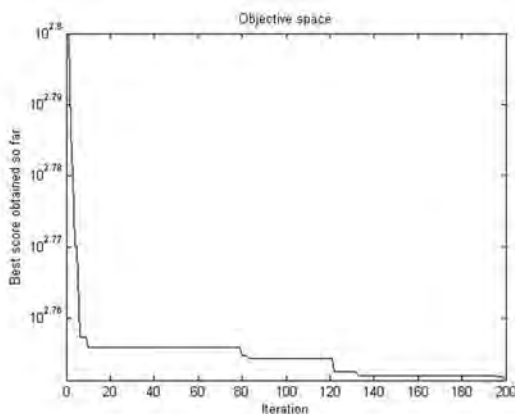


Gambar 4.10 Grafik perbandingan total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 Bus dengan metode GWO dan MHBMO akibat efek katup

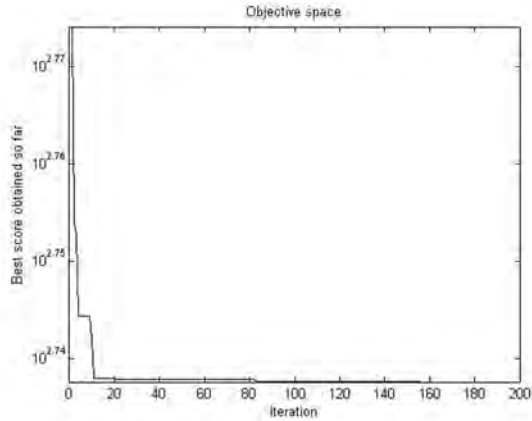
Total biaya pembangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan metode GWO tanpa efek katup adalah 563,9168 \$/h. Sedangkan dengan metode MHBMO lebih mahal yaitu 803,0844 \$/h.

4.2.5 Grafik Konvergensi

Pada simulasi aliran daya optimal menggunakan metode GWO, hasil dari simulasi terdapat grafik konvergensi dimana akan dilihat pengaruh dari efek katup. Berikut ini adalah grafik konvergensi:



Gambar 4.11 Grafik konvergensi akibat efek katup sistem IEEE 30 Bus dengan GWO



Gambar 4.12 Grafik konvergensi tanpa efek katup sistem IEEE 30 Bus dengan GWO

Pada perbandingan grafik konvergensi diatas dapat dilihat bahwa saat tanpa menggunakan efek katup, sistem akan lebih mudah untuk mencapai nilai konvergen dibandingkan dengan menggunakan efek katup.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan simulasi serta analisis aliran daya optimal dengan efek katup menggunakan metode Grey Wolf Optimization (GWO) pada dua data yaitu sistem IEEE 9 Bus dan sistem IEEE 30 Bus, maka didapatkan kesimpulan yaitu:

1. Dari hasil simulasi serta pengujian menunjukkan bahwa metode Grey Wolf Optimization (GWO) dapat dijadikan sebagai solusi dalam penyelesaian permasalahan aliran daya optimal dengan mempertimbangkan pengaruh efek katup.
2. Pengaruh efek katup dapat dilihat dari daya yang dihasilkan serta biaya pembangkitan. Sebuah sistem akan lebih mudah konvergen jika tanpa efek katup. Kemudian, biaya yang dihasilkan akibat efek katup lebih mahal dibandingkan tanpa efek katup. Terlihat dari total biaya pembangkitan akibat efek katup sebesar 5491,226 \$/h pada sistem IEEE 9 Bus dan 546,4525 \$/h pada sistem IEEE 30 Bus. Sedangkan total biaya pembangkitan tanpa efek katup sebesar 5314,7752 \$/h pada sistem IEEE 9 Bus dan 563,9168 \$/h pada sistem IEEE 30 Bus.
3. Pengujian terakhir adalah membandingkan biaya pembangkitan akibat efek katup menggunakan metode GWO dengan metode yang telah dilakukan sebelumnya yaitu metode MHBMO. Dari hasil simulasi, total biaya yang dibangkitkan dengan metode GWO sebesar 5491,226 \$/h pada sistem IEEE 9 Bus dan 546,4525 \$/h pada sistem IEEE 30 Bus. Sedangkan total biaya yang dibangkitkan dengan metode MHBMO adalah 5494,6866 \$/h pada sistem IEEE 9 Bus dan 780,2877 \$/h pada sistem IEEE 30 Bus. Hal ini menunjukkan bahwa metode GWO menghasilkan biaya yang lebih murah dibandingkan metode MHBMO sehingga metode GWO memiliki hasil yang lebih baik

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan tugas akhir ini serta penelitian selanjutnya antara lain

1. Analisa aliran daya optimal dengan menggunakan metode GWO masih menggunakan satu permasalahan yaitu akibat efek katup, sehingga kedepannya diharapkan dapat memberikan permasalahan baru sehingga dapat menemukan hasil yang maksimal.
2. Mencari metode optimasi lain berlandaskan *Artificial Intelligence (AI)* selain metode yang telah digunakan dalam penyelesaian analisa aliran daya optimal sehingga dapat ditemukan metode terbaik dalam penyelesaian aliran daya optimal

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Saadat, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc, 1999.
- [2] W. D. Stevenson, “Analisis Sistem Tenaga Listrik,” Jakarta, Erlangga, 1996.
- [3] H. Kharisma, “Dynamic Optimal Power Flow Mempertimbangkan Valve-Point Effect Menggunakan Modified Honey Bee Mating Optimisation,” Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS, 2017.
- [4] O. Penangsang, “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2,” Surabaya, Teknik Elektro ITS.
- [5] S. Frank and S. Rebennack, “An Introduction to Optimal Power Flow: Theory, Formulation, and Examples,” vol. 48, pp. 1172-1197, 2016.
- [6] D. S. Sharma, S. Mehta and N. Chopra, “Economic Load Dispatch Using Grey Wolf Optimization,” vol. 5, no. 4, pp. 128-132, 2015.
- [7] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, “Power Generation, Operation and Control,” John Wiley & Sons, 2012.
- [8] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili and A. Lewis, “Grey Wolf Optimizer,” vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [9] G. L. Decker and A. D. Brooks, “Valve Point Loading of Turbiner,” vol. 77, no. 3, pp. 481-484, 1958.
- [10] D. B. Attous and Y. Labbi, “Particle Swarm Optimization based Optimal Power Flow for Units with Non-Smooth Fuel Cost Functions,” in *IEEE*, 2009.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

```

clear all
clc

%Problem ieee 30 bus
Generator = [1, 2, 5, 8, 11, 13];
PDemand = 283.4;
PLoss = 7.5052;
PGmin = [50, 20, 15, 10, 10, 12];
PGmax = [200, 80, 50, 35, 30, 40];
a = [0, 0, 0, 0, 0, 0];
b = [2, 1.75, 1, 3.25, 3, 3];
c = [0.00375, 0.0175, 0.0625, 0.00834, 0.025,
0.025];
e = [18, 16, 14, 12, 13, 13.25];
f = [0.037, 0.038, 0.4, 0.045, 0.042, 0.041];

basemva = 100; accuracy = 0.0001; maxiter =
10;
%      Bus Bus  Voltage Angle  ---Load--- ---
----Generator----- Static Mvar
%      No  code Mag.      Degree  MW      Mvar  MW
Mvar Qmin Qmax      +Qc/-Ql
busdata=[ 1  1  1.060      0      0      0
260.2   -16.1   0   10  0   0.94   1.06   -360
360
        2      2  1.043      0   21.7   12.7
40      50      -40 50  0   0.94   1.06   -360
360
        3      0  1.021      0   2.4    1.2
0       0      0   0   0   0.94   1.06   -360
360
        4      0  1.012      0   7.6    1.6
0       0      0   0   0   0.94   1.06   -360
360

```

	5	2	1.010		0	94.2	1.9	
0	37		-40 40	0	0.94	1.06	-360	
360								
	6	0	1.010		0	0	0	
0	0		0 0	0	0.94	1.06	-360	
360								
	7	0	1.002		0	22.8	10.9	
0	0		0 0	0	0.94	1.06	-360	
360								
	8	2	1.010		0	30	30	
0	37.3		-10 40	0	0.94	1.06	-360	
360								
	9	0	1.051		0	0	0	
0	0		0 0	0	0.94	1.06	-360	
360								
	10	0	1.045	0	5.8	2	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	11	2	1.082	0	0	0	0	
16.2	-6	24	0	0.94	1.06	-360	360	
	12	0	1.057	0	11.2	7.5	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	13	2	1.071	0	0	0	0	
10.6	-6	24	0	0.94	1.06	-360	360	
	14	0	1.042	0	6.2	1.6	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	15	0	1.038	0	8.2	2.5	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	16	0	1.045	0	3.5	1.8	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	17	0	1.040	0	9	5.8	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	18	0	1.028	0	3.2	0.9	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	19	0	1.026	0	9.5	3.4	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	20	0	1.030	0	2.2	0.7	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	
	21	0	1.033	0	17.5	11.2	0	
0	0	0	0	0.94	1.06	-360	360	

```

0      22 0 1.033      0      0      0      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      23 0 1.027      0      3.2      1.6      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      24 0 1.021      0      8.7      6.7      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      25 0 1.017      0      0      0      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      26 0 1.000      0      3.5      2.3      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      27 0 1.023      0      0      0      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      28 0 1.007      0      0      0      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      29 0 1.003      0      2.4      0.9      0
      0 0 0      0.94      1.06      -360      360
0      30 0 0.992      0      10.6      1.9      0
0      0 0 0      0.94      1.06      -360
360];

```

```

%                                     Line code
%      Bus bus      R      X      1/2 B      = 1 for
lines
%      nl  nr  p.u.      p.u.      p.u.      > 1 or < 1
tr. tap at bus nl
linedata = [
1      2      0.0192      0.0575      0.0264      1      130
1      3      0.0452      0.1652      0.0204      1      130
2      4      0.057      0.1737      0.0184      1      65
3      4      0.0132      0.0379      0.0042      1      130
2      5      0.0472      0.1983      0.0209      1      130
2      6      0.0581      0.1763      0.0187      1      65
4      6      0.0119      0.0414      0.0045      1      90
5      7      0.046      0.116      0.0102      1      70
6      7      0.0267      0.082      0.0085      1      130
6      8      0.012      0.042      0.0045      1      32
6      9      0      0.208      0      1      65
6      10      0      0.556      0      1      32
9      11      0      0.208      0      1      65
9      10      0      0.11      0      1      65

```


4	12	0	0.256	0	1	65
12	13	0	0.14	0	1	65
12	14	0.1231	0.2559	0	1	32
12	15	0.0662	0.1304	0	1	32
12	16	0.0945	0.1987	0	1	32
14	15	0.221	0.1997	0	1	16
16	17	0.0524	0.1923	0	1	16
15	18	0.1073	0.2185	0	1	16
18	19	0.0639	0.1292	0	1	16
19	20	0.034	0.068	0	1	32
10	20	0.0936	0.209	0	1	32
10	17	0.0324	0.0845	0	1	32
10	21	0.0348	0.0749	0	1	32
10	22	0.0727	0.1499	0	1	32
21	22	0.0116	0.0236	0	1	32
15	23	0.1	0.202	0	1	16
22	24	0.115	0.179	0	1	16
23	24	0.132	0.27	0	1	16
24	25	0.1885	0.3292	0	1	16
25	26	0.2544	0.38	0	1	16
25	27	0.1093	0.2087	0	1	16
28	27	0	0.396	0	1	65
27	29	0.2198	0.4153	0	1	16
27	30	0.3202	0.6027	0	1	16
29	30	0.2399	0.4533	0	1	16
8	28	0.0636	0.2	0.0214	1	32
6	28	0.0169	0.0599	0.0065	1	32];

```

%---Initialization---%
population = 300; %Population Size
max_iter = 200; %Max Iteration
N = size(PGmin,2); %Number of Generators

```

```

Function = 'F2';
fitness = inf;

```

```

Alpha_pos = zeros(population,N);
Alpha_score = inf;
Alpha_loss = 0;
Beta_pos = zeros(population,N);

```

```

Beta_score = inf;
Delta_pos = zeros(population,N);
Delta_score = inf;

for i = 1:N
    Positions(:,i) =
    rand(population,1).*(PGmax(i)-
    PGmin(i))+PGmin(i);
end

Convergence_curve = zeros(1,max_iter);

i = 0; %Iteration Counter

while i < max_iter
    for j = 1:size(Positions,1)
        %Return back the search agents that go
        beyond the boundaries of the search space
        FlagLb = Positions(j,:) < PGmin;
        FlagUb = Positions(j,:) > PGmax;
        Positions(j,:) =
        (Positions(j,:).*(~(FlagUb+FlagLb))) +
        PGmax.*FlagUb + PGmin.*FlagLb;

        %Calculate objective function for each
        search agent
        %         PLoss = 0;
        %         for k = 1:N
        %             for l = 1:N
        %                 PLoss = PLoss +
        %                 ((Positions(j,k)*Bmn(k,l)*Positions(j,l))+
        %                 (B0(k)*Positions(j,k)+B00));
        %             end
        %         end

        if sum(Positions(j,:)) > PDemand+PLoss
        && sum(Positions(j,:)) < PDemand+PLoss+30
            switch Function
                case 'F1'

```

```

                                fitness =
F1(Positions(j,:),a,b,c);
                                case 'F2'
                                    fitness =
F2(Positions(j,:),a,b,c,e,f,PGmin);
                                end
                                end

                                %Update Alpha, Beta, and Delta
                                if fitness < Alpha_score
                                    Alpha_score = fitness; %Update Alpha
                                    Alpha_pos = Positions(j,:);
                                    Alpha_loss = PLoss;
                                end
                                if fitness > Alpha_score && fitness <
Beta_score
                                    Beta_score = fitness; %Update Beta
                                    Beta_pos = Positions(j,:);
                                end
                                if fitness > Alpha_score && fitness >
Beta_score && fitness < Delta_score
                                    Delta_score = fitness; %Update Delta
                                    Delta_pos = Positions(j,:);
                                end
                                end

                                vector_a = 2-i*(2/max_iter);

                                %Update the Position of Population including
Omega
                                for j = 1:size(Positions,1)
                                    for k = 1:size(Positions,2)
                                        r1 = rand();
                                        r2 = rand();

                                        vector_A = 2*vector_a*r1 - vector_a;
                                        vector_C = 2*r2;

                                        D_Alpha = abs(vector_C*Alpha_pos(k)
- Positions(j,k));

```

```

        X1 = Alpha_pos(k) -
vector_A*D_Alpha;

        D_Beta = abs(vector_C*Beta_pos(k) -
Positions(j,k));
        X2 = Beta_pos(k) - vector_A*D_Beta;

        D_Delta = abs(vector_C*Delta_pos(k)
- Positions(j,k));
        X3 = Delta_pos(k) -
vector_A*D_Delta;

        Positions(j,k) = (X1 + X2 + X3) / 3;
    end
end
i = i + 1;
Convergence_curve(i) = Alpha_score;
display(['Iterator ', num2str(i) ' Best
Generator = ', num2str(Alpha_pos)]);
end

Cost = zeros(1,N);
for i = 1:N
    switch Function
        case 'F1'
            Cost(i) =
F1(Alpha_pos(i),a(i),b(i),c(i));
        case 'F2'
            Cost(i) =
F2(Alpha_pos(i),a(i),b(i),c(i),e(i),f(i),PGmin(i)
));
    end
end

display(['Total Cost with Total P = ',
num2str(sum(Alpha_pos)) ' MW and Total Cost is :
', num2str(Alpha_score) ' USD/Hr']);
for i = 1:N

```

```

        display(['Generator ', num2str(Generator(i))
' - P = ', num2str(Alpha_pos(i)) ' MW with cost
: ', num2str(Cost(i)) ' USD/Hr']);
end
display(['-----
-----']);

semilogy(Convergence_curve)
title('Objective space')
xlabel('Iteration');
ylabel('Best score obtained so far');

temp = size(Alpha_pos,2);
while temp > 0
    for i = 1:size(busdata,1)
        if busdata(i,1) == Generator(temp)
            busdata(i,7) = Alpha_pos(temp);
            temp = temp - 1;
        end

        if temp == 0
            break
        end
    end
end
end

lfbusm
lfnnewtonm
busoutm
lineflow
blossm

```

Line flow hasil simulasi sistem IEEE 30 Bus (akibat efek katup):

```

--Line-- Power at bus & line flow --Line loss--
from to MW Mvar MVA MW Mvar

```

1	194.583	-5.400	194.658		
2	129.487	-10.332	129.899	2.874	2.770
3	65.096	4.932	65.283	1.726	1.869

2	-1.700	26.395	26.450		
1	-126.613	13.102	127.289	2.874	2.770
4	31.936	3.717	32.152	0.552	-2.225
5	49.314	5.471	49.616	1.081	0.137
6	43.663	4.106	43.856	1.038	-0.794

3	-2.400	-1.200	2.683		
1	-63.370	-3.063	63.444	1.726	1.869
4	60.970	1.863	60.999	0.467	0.465

4	-7.600	-1.600	7.767		
2	-31.384	-5.942	31.942	0.552	-2.225
3	-60.503	-1.399	60.520	0.467	0.465
6	51.315	1.284	51.331	0.303	0.129
12	32.973	4.456	33.273	0.000	2.739

5	-47.781	0.019	47.781		
2	-48.232	-5.334	48.526	1.081	0.137
7	0.451	5.353	5.372	0.019	-2.019

6	0.000	0.000	0.000		
2	-42.625	-4.900	42.906	1.038	-0.794
4	-51.012	-1.155	51.025	0.303	0.129
7	22.502	2.220	22.612	0.135	-1.308
8	20.837	-4.502	21.318	0.053	-0.734
9	20.014	0.893	20.034	0.000	0.817
10	13.266	4.630	14.051	0.000	1.074
28	17.017	2.815	17.248	0.050	-1.145

7	-22.800	-10.900	25.272		
5	-0.432	-7.372	7.384	0.019	-2.019
6	-22.368	-3.528	22.644	0.135	-1.308

8	-20.000	3.412	20.289		
6	-20.784	3.769	21.123	0.053	-0.734
28	0.784	-0.357	0.861	0.002	-4.341

9	0.000	0.000	0.000		
6	-20.014	-0.075	20.014	0.000	0.817
11	-10.028	-20.409	22.740	0.000	1.055
10	30.042	20.485	36.361	0.000	1.426

10	-5.800	-2.000	6.135		
6	-13.266	-3.555	13.734	0.000	1.074
9	-30.042	-19.058	35.577	0.000	1.426
20	8.831	2.835	9.275	0.082	0.184
17	5.167	2.644	5.804	0.011	0.029
21	15.850	10.331	18.920	0.128	0.275
22	7.660	4.803	9.041	0.061	0.126

11	10.028	21.464	23.691		
9	10.028	21.464	23.691	0.000	1.055

12	-11.200	-7.500	13.479		
4	-32.973	-1.717	33.018	0.000	2.739
13	-12.000	-22.647	25.630	0.000	0.902
14	8.053	2.892	8.557	0.088	0.184
15	18.286	8.777	20.283	0.267	0.526
16	7.434	5.195	9.069	0.076	0.160

13	12.000	23.549	26.430		
12	12.000	23.549	26.430	0.000	0.902

14	-6.200	-1.600	6.403		
12	-7.965	-2.708	8.413	0.088	0.184

15	1.765	1.108	2.084	0.010	0.009
15	-8.200	-2.500	8.573		
12	-18.019	-8.250	19.818	0.267	0.526
14	-1.755	-1.100	2.071	0.010	0.009
18	6.225	2.499	6.708	0.050	0.101
23	5.349	4.351	6.895	0.049	0.099
16	-3.500	-1.800	3.936		
12	-7.358	-5.035	8.915	0.076	0.160
17	3.858	3.235	5.034	0.013	0.049
17	-9.000	-5.800	10.707		
16	-3.844	-3.185	4.992	0.013	0.049
10	-5.156	-2.615	5.781	0.011	0.029
18	-3.200	-0.900	3.324		
15	-6.175	-2.398	6.625	0.050	0.101
19	2.975	1.498	3.331	0.007	0.015
19	-9.500	-3.400	10.090		
18	-2.968	-1.483	3.318	0.007	0.015
20	-6.532	-1.917	6.808	0.017	0.033

20	-2.200	-0.700	2.309		
19	6.549	1.950	6.833	0.017	0.033
10	-8.749	-2.650	9.142	0.082	0.184
21	-17.500	-11.200	20.777		
10	-15.722	-10.057	18.664	0.128	0.275
22	-1.778	-1.143	2.114	0.001	0.001
22	0.000	0.000	0.000		
10	-7.599	-4.678	8.923	0.061	0.126
21	1.778	1.144	2.115	0.001	0.001
24	5.820	3.534	6.809	0.056	0.087
23	-3.200	-1.600	3.578		
15	-5.300	-4.252	6.795	0.049	0.099
24	2.100	2.652	3.383	0.016	0.033
24	-8.700	-6.700	10.981		
22	-5.764	-3.446	6.716	0.056	0.087
23	-2.084	-2.619	3.347	0.016	0.033
25	-0.852	-0.634	1.062	0.002	0.004

25	0.000	0.000	0.000		
24	0.854	0.638	1.066	0.002	0.004
26	3.550	2.374	4.271	0.050	0.074
27	-4.404	-3.013	5.336	0.033	0.064
26	-3.500	-2.300	4.188		
25	-3.500	-2.300	4.188	0.050	0.074
27	0.000	0.000	0.000		
25	4.437	3.076	5.399	0.033	0.064
28	-17.749	-6.463	18.889	0.000	1.480
29	6.203	1.694	6.430	0.095	0.180
30	7.108	1.693	7.307	0.179	0.337
28	0.000	0.000	0.000		
27	17.749	7.943	19.445	0.000	1.480
8	-0.781	-3.984	4.060	0.002	-4.341
6	-16.967	-3.960	17.423	0.050	-1.145
29	-2.400	-0.900	2.563		
27	-6.108	-1.514	6.292	0.095	0.180
30	3.708	0.614	3.758	0.037	0.070

30	-10.600	-1.900	10.769		
27	-6.929	-1.356	7.061	0.179	0.337
29	-3.671	-0.544	3.711	0.037	0.070
Total loss			9.629	4.939	

Line flow hasil simulasi sistem IEEE 30 Bus (akibat efek katup):

--Line--	Power at bus & line flow	--Line loss--	Transformer
from to	MW Mvar MVA	MW Mvar	tap

1	128.631	11.479	129.142		
2	74.930	4.715	75.078	0.969	-2.935
3	53.701	6.764	54.125	1.193	-0.079
2	58.300	3.455	58.402		
1	-73.960	-7.650	74.355	0.969	-2.935
4	36.611	2.276	36.682	0.712	-1.737
5	48.785	5.548	49.099	1.059	0.044
6	46.864	3.281	46.979	1.188	-0.340
3	-2.400	-1.200	2.683		
1	-52.508	-6.843	52.952	1.193	-0.079
4	50.108	5.643	50.425	0.319	0.040

4	-7.600	-1.600	7.767		
2	-35.899	-4.013	36.123	0.712	-1.737
3	-49.789	-5.603	50.103	0.319	0.040
6	45.499	3.486	45.632	0.240	-0.092
12	32.589	4.530	32.903	0.000	2.677

5	-44.200	-1.323	44.220		
2	-47.726	-5.504	48.042	1.059	0.044
7	3.526	4.181	5.469	0.018	-2.020

6	0.000	0.000	0.000		
2	-45.676	-3.620	45.819	1.188	-0.340
4	-45.259	-3.578	45.400	0.240	-0.092
7	19.395	3.292	19.672	0.103	-1.407
8	20.849	-4.414	21.311	0.053	-0.734
9	20.235	0.887	20.254	0.000	0.835
10	13.385	4.621	14.161	-0.000	1.091
28	17.071	2.812	17.301	0.050	-1.144

7	-22.800	-10.900	25.272		
5	-3.508	-6.201	7.124	0.018	-2.020
6	-19.292	-4.699	19.856	0.103	-1.407

8	-20.000	3.303	20.271		
6	-20.796	3.680	21.119	0.053	-0.734
28	0.796	-0.377	0.881	0.002	-4.341
9	0.000	0.000	0.000		
6	-20.235	-0.051	20.235	0.000	0.835
11	-10.000	-20.377	22.699	0.000	1.051
10	30.235	20.429	36.490	-0.000	1.436
10	-5.800	-2.000	6.135		
6	-13.385	-3.529	13.843	-0.000	1.091
9	-30.235	-18.993	35.705	-0.000	1.436
20	8.926	2.802	9.355	0.084	0.187
17	5.348	2.596	5.945	0.012	0.031
21	15.872	10.325	18.935	0.128	0.275
22	7.674	4.799	9.051	0.061	0.126
11	10.000	21.428	23.647		
9	10.000	21.428	23.647	0.000	1.051
12	-11.200	-7.500	13.479		
4	-32.589	-1.854	32.642	0.000	2.677
13	-12.000	-22.621	25.607	0.000	0.901

14	8.015	2.911	8.527	0.088	0.183
15	18.124	8.825	20.158	0.264	0.520
16	7.250	5.238	8.945	0.074	0.156
13	12.000	23.521	26.406		
12	12.000	23.521	26.406	0.000	0.901
14	-6.200	-1.600	6.403		
12	-7.927	-2.729	8.383	0.088	0.183
15	1.727	1.129	2.063	0.010	0.009
15	-8.200	-2.500	8.573		
12	-17.860	-8.305	19.697	0.264	0.520
14	-1.717	-1.120	2.050	0.010	0.009
18	6.131	2.533	6.634	0.049	0.099
23	5.247	4.392	6.842	0.048	0.097
16	-3.500	-1.800	3.936		
12	-7.176	-5.082	8.794	0.074	0.156
17	3.676	3.282	4.928	0.013	0.047
17	-9.000	-5.800	10.707		
16	-3.663	-3.235	4.887	0.013	0.047

10	-5.337	-2.565	5.921	0.012	0.031
18	-3.200	-0.900	3.324		
15	-6.082	-2.434	6.551	0.049	0.099
19	2.882	1.534	3.265	0.007	0.015
19	-9.500	-3.400	10.090		
18	-2.875	-1.520	3.252	0.007	0.015
20	-6.625	-1.880	6.887	0.017	0.034
20	-2.200	-0.700	2.309		
19	6.642	1.915	6.912	0.017	0.034
10	-8.842	-2.615	9.220	0.084	0.187
21	-17.500	-11.200	20.777		
10	-15.744	-10.050	18.679	0.128	0.275
22	-1.756	-1.150	2.099	0.001	0.001
22	0.000	0.000	0.000		
10	-7.613	-4.673	8.933	0.061	0.126
21	1.756	1.151	2.100	0.001	0.001
24	5.857	3.523	6.835	0.056	0.088

23	-3.200	-1.600	3.578		
15	-5.198	-4.295	6.743	0.048	0.097
24	1.998	2.695	3.355	0.016	0.032

24	-8.700	-6.700	10.981		
22	-5.800	-3.435	6.741	0.056	0.088
23	-1.983	-2.663	3.320	0.016	0.032
25	-0.917	-0.603	1.097	0.002	0.004

25	0.000	0.000	0.000		
24	0.919	0.607	1.102	0.002	0.004
26	3.550	2.374	4.271	0.050	0.074
27	-4.469	-2.981	5.372	0.034	0.065

26	-3.500	-2.300	4.188		
25	-3.500	-2.300	4.188	0.050	0.074

27	0.000	0.000	0.000		
25	4.503	3.046	5.436	0.034	0.065
28	-17.814	-6.433	18.940	-0.000	1.487
29	6.203	1.694	6.430	0.095	0.180
30	7.108	1.693	7.307	0.179	0.337

28	0.000	0.000	0.000		
27	17.814	7.920	19.495	-0.000	1.487
8	-0.794	-3.964	4.043	0.002	-4.341
6	-17.020	-3.956	17.474	0.050	-1.144
29	-2.400	-0.900	2.563		
27	-6.108	-1.514	6.292	0.095	0.180
30	3.708	0.614	3.758	0.037	0.070
30	-10.600	-1.900	10.769		
27	-6.929	-1.356	7.061	0.179	0.337
29	-3.671	-0.544	3.711	0.037	0.070
Total loss			7.231	-2.637	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Monica Amelia Oktaviani, adalah salah satu mahasiswa Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis lahir di Jakarta, 15 Oktober 1995. Sebelum menempuh pendidikan di Surabaya, penulis telah menempuh pendidikan di SD dan SMP Santa Lusia, SMAN 1 Bekasi. Selama menjadi seorang mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai organisasi, sebagai staff Departemen Lingkar Kampus HIMATEKTRO ITS periode 2015-2016, sebagai sekretaris Departemen Lingkar Kampus HIMATEKTRO ITS periode 2016-2017, dan sebagai bendahara Natal Paskah PMK ITS periode 2016-2017.